Understanding CO_2 and Climate

Annual Report 1985

Spring 1986
Canadian Climate Centre
Atmospheric Environment Service

Table of Contents

	Page
EXECUTIVE SUMMARY	1
ANNUAL REPORT	
Introduction	3
Scientific Understanding: Review and Update	
Atmospheric Constituents	3
Global Climate Response	6
Impacts of Increasing CO_2/Climate Warming	7
Canadian Perspectives	
CO_2/Carbon Cycle	9
Regional Climate Warming Scenarios	9
Effects of CO_2 Increase/Climate Warming	10
Public Awareness	11
Conclusions	12
APPENDICES	
I Conference Statement	13
II International CO_2/Climate Research	16
III CO_2 Climate Research	19

CO_2 and Climate

EXECUTIVE SUMMARY

International concern about increasing global concentrations of atmospheric "greenhouse" gases (such as carbon dioxide, chlorofluorocarbons, methane, etc.) and their implications for global climate continues unabated. A decade of scientific research and debate has contributed significantly to addressing this concern. Yet many unanswered questions remain. During 1985, major international reviews by leading experts and new research developments reported by scientists have reconfirmed the importance of this issue, both for the global community and individual nations. Following are some key conclusions which emerge.

CO_2 and Climate:

- Time of doubling of atmospheric CO_2 concentration over pre-industrial levels is, to a large degree, dependent upon future energy consumption patterns of our global society. These patterns in turn depend upon complex and highly unpredictable human decision-making processes. This implies both that:
  - future CO_2 emission rates will continue to be difficult to predict;
  - considerable potential exists for national and international governmental energy policies to influence future rates of CO_2 emissions, and hence the rate and extent of consequent climate change;
- If current trends in rising concentrations of "greenhouse" gases other than CO_2 continue, a global climate warming equivalent to a CO_2 doubling could occur as early as 2030 AD, and likely before 2050 AD;
- There is an emerging consensus among atmospheric scientists that related global warming will be significant and possibly unprecedented in human history;
- Such warming is expected to be greatest in high latitudes during autumn and winter and will likely be accompanied by: drier summers in the mid- latitudes of the Northern Hemisphere; increased runoff in high latitudes; and a 0.2 to 1.4 metre rise in mean global sea levels. Regional characteristics of global warming cannot as yet be estimated with any significant level of certainty;
- Causes and effects of increasing greenhouse gas concentrations and resulting climate change are related to other major global environmental issues such as acid rain, arctic haze and ozone layer depletion. Therefore responsive action on one issue will have significant implications for other issues. Mitigative response thus demands a holistic approach to global environmental concerns;

Implications:

- Evidence of effects of past climate changes support the conclusion that a major climatic warming due to an increased greenhouse effect will have profound effects on global ecosystems, agriculture, water resources and sea ice. Major long-term economic and social decisions pertaining to these must take such effects into account today;
- Impoverished countries in the developing world are least able to respond to climate change and hence are highly vulnerable to catastrophic consequences of such change;
- Large sectors of global populations will be affected by a 1 metre sea level rise;
- In Canada:
  - agriculture will benefit significantly from warmer and longer growing seasons, particularly in northern regions;
  - direct effects of increased CO_2 could enhance field crop growth by up to 15%;
  - agriculture in southern regions may be significantly affected by increased frequency and severity of drought;
  - Great Lakes winter ice seasons may disappear, with a potential increase in shipping of 15 to 30%;

- decreased Great Lakes Basin water runoff could reduce lake levels by 20 cm, with a net decrease in seasonal shipping capacity of 6%. Major ecological marshes such as Point Pelee would disappear or be significantly altered;
- downhill skiing industry could disappear in southern Ontario as reliable snow seasons retreat northward. Net effects on the related Ontario economy, possibly in excess of $50 million/year, would be at least partially offset by increased summer recreational activity.

Required Action

- Increased attention to possible effects of future climate change in major decisions pertaining to climate sensitive long-term social and economic planning;
- Enhanced public awareness;
- Enhanced research into basic scientific understanding, and into the sensitivity of the Canadian environment and socio-economic activities to major climate change;
- Cooperative policy-maker/scientist investigation of future options for mitigative and adaptive strategies.

ANNUAL REPORT 1985

Introduction

Global measurements of atmospheric composition and such important indicators as snow- and ice-bound chemicals in polar regions indicate that the human fingerprint is now clearly evident at Earth's remotest and most inaccessible regions. This trend is increasing, and is threatening to the well-being of our planet. It emerges in our scientific research as a number of specific but major global environmental issues such as acid rain, ozone depletion, arctic haze, climate change and urban human health.

Although climate change is only one of these major issues it is potentially the most serious. Hence it has captured the attention of national and international research agencies around the world. For Canadians, living at the northern cold margins of the Earth, the implications of large global climate change are of particular economic, social and political importance. Hence there exists a need for both an active Canadian involvement in improving the scientific understanding of this issue and a full awareness of the potential future requirements for mitigative and adaptive action.

Each year Environment Canada prepares a report on "Understanding CO_2 and Climate". This is the third such report. It provides a brief review and update on the current understanding of this issue, from both a global and a Canadian perspective. Additional background information appears in the Appendices. These include a formal statement on the role of greenhouse gases in climate variations, prepared by an international meeting of experts held in Villach, Austria in October, 1985 *(Appendix I)*, and reviews of present international *(Appendix II)* and Canadian *(Appendix III)* research activities and reports on the issue.

Scientific Understanding: Review and Update

Atmospheric Constituents. Today at least 20 atmospheric trace gases are considered to be potentially significant to future global climate. These gases are essentially transparent to incoming short-wave solar radiation but absorb and re-radiate much of the out-going long wave radiation, thus influencing the earth's surface temperature. Hence they are often collectively referred to as greenhouse gases. Changing concentrations of six of these gases, listed in *Table I* together with their present concentrations, trends, projections of future levels and sources, are believed to be sufficiently rapid already to affect our present global climate.

CARBON DIOXIDE: Although molecule-by-molecule not the most powerful greenhouse gas, carbon dioxide (CO_2) remains the most important because of its greater abundance and rate of increase. Paleoclimatological evidence for the past 150,000 years suggests that a close relationship has long existed between atmospheric CO_2 concentrations and global mean surface temperatures. Lowest concentrations of about 200 parts per million by volume (ppmv), or 0.02%, occurred during maximum glaciation, and highest levels of approximately 275 ppmv during warm interglacial periods. Present global climate is still in such an interglacial period. Ice cores indicate that pre-industrial concentrations of CO_2 prior to 1800 AD were 275 $\pm$5 ppmv. That concentration has since increased by 70 ppmv to present level of 345 ppmv, an increase comparable to the full range of past glacial/interglacial fluctuations referred to above.

The primary source of man-made CO_2 is the combustion of fossil fuels (i.e. coal, oil and

"Since 1973... the increase in demand for energy by the industrialized nations has dropped from 4.8%/year to present levels of 0.5%/yr."

gas) for energy. Currently, about 5 giga tonnes (GT) of carbon in the form of CO_2 are emitted annually into the atmosphere by this process. However, decreasing confidence in the predictability of societal behaviour, its demands for energy and the role of fossil fuels in meeting these demands has resulted in increasing uncertainty in the projections of future CO_2 emission trends. Past assumptions about direct correlations between energy consumption and economic growth are becoming more doubtful. Since 1973, despite continued economic growth, the increase in demand for energy by the industrialized nations has dropped from 4.8%/year to present levels of 0.5%/yr. During the same time period, developing nations have decreased their energy demand growth modestly, from 7.3% to 6.2%/yr. Primary factors behind these changes are technological developments and human decision-making processes, factors which cannot be dealt with well by analytic methods. As a result the range of forecasts for CO_2 emission rates by 2050 AD has now reached a factor of 10, from a low of 2 GT of carbon/yr for high energy efficiency/low fossil fuel use scenarios to a high of 20 GT/ year. There is no "most likely" scenario! However, future national and international governmental decisions concerning energy polices and related technologies will be a primary determinant as to whether future emission trends approach the high or low end of the scenario range.

An additional uncertainty which enters into the projections of future CO_2 concentrations in the atmosphere is caused by the as yet inadequate understanding of the natural processes by which part of the man-made CO_2 emissions are transferred to the biosphere and the oceans. The resolution of these

TABLE I

Concentrations and Sources of Principal Greenhouse Gases (Adapted from Bolin et al, 1986)

Principal Greenhouse Gas	Concentrations (Parts per Billion)			Man-Made Sources
	Present	Trend (%/Yr)	Projected 2030 AD	
Carbon Dioxide (CO_2)	345×10^3	0.4	450×10^3	Burning of coal, oil and gas; deforestation
Methane (CH_4)	1.55×10^3	1.1	2.34×10^3	Biological activities related to increased human and bovine global population
Nitrous oxide (N_2O)	301	0.3	375	Increased use of fertilizers; burning of coal, oil and gas
Chloro-fluorocarbons				
i) F11	0.17	5.7	1.1	Industry
ii) F12	0.28	6.0	1.8	Industry
Tropospheric Ozone (O_3)	Variable	~ 1	+ 12.5%	Photochemical reaction of other gases

inadequacies is an important objective of continued research efforts, particularly in regards to the role of the oceans. However, their influence on the rate in increase of atmosphere CO_2 concentrations is secondary to that of the uncertainty relating to the future rate of man-made CO_2 emissions.

Given the above uncertainties it is now believed that a doubling of the pre-industrial CO_2 concentration of 275 ppmv may occur as early as 2050 AD (high emissions) or may be delayed well into the 22nd century (low emissions).

OTHER GREENHOUSE GASES: The other non-CO_2 greenhouse gases listed in Table I are radiatively similar to CO_2. Hence their climatic effects can be approximated in terms of equivalent effects of an additional increase in CO_2. Climate modellers suggest that the combined influence of these gases on climate may already be approaching that of CO_2 today. Based on projections given in Table I, the cumulative effects of these gases in future may well exceed the CO_2 effect, particularly for low CO_2 emission scenarios. When their effects are added to that of CO_2 and together

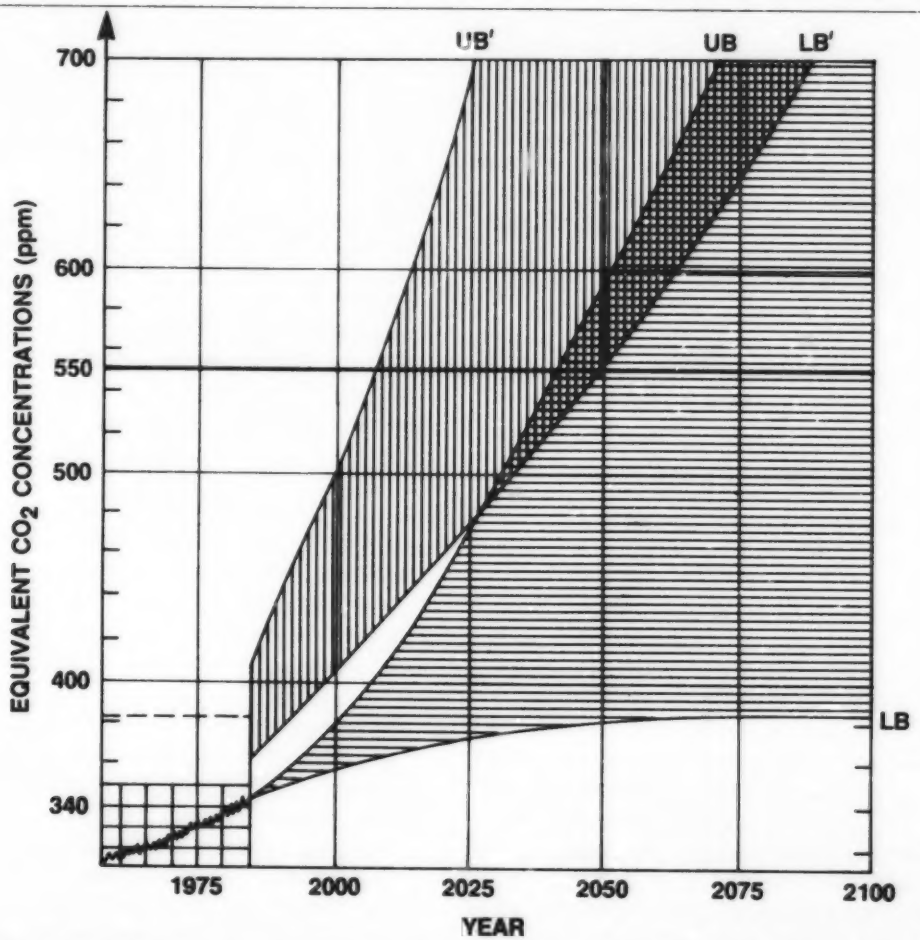

Figure I. Projections for future concentrations of atmospheric greenhouse gases. The curves UB and LB indicate range of estimates for future concentrations of CO_2 alone, while UB' and LB' represent the range of estimates for "equivalent" CO_2 concentrations when other trace gases are included. The value of 550 ppm represents a doubling of preindustrial CO_2 concentrations (Bolin et al, 1986).

described in terms of equivalent CO_2 concentrations, the range of timing of an equivalent-CO_2 doubling advances dramatically, as illustrated in Figure 1. Experts suggest this event could occur prior to 2030 AD and likely before 2050 AD. Hence mitigative action to slow down a global enhanced greenhouse effect, to be successful, must not only deal with CO_2 emissions but with those of other greenhouse gases as well.

AEROSOLS: Changes in other climatically significant atmospheric constituents such as aerosols have also been observed and measured in areas such as polar and industrial regions. Such changes may well become of increasing climatic importance, particularly locally. However, long-term records of atmospheric aerosol content are inadequate to establish an aerosol climatology or to determine long term or global change patterns. Hence the human influence on these changes are as yet difficult to establish, and reliable means by which to project plausible future scenarios for atmosphere aerosol content are still unavailable. The development of a global aerosol climatology and monitoring of the variations that occur thus emerge as important requirements. Researchers generally agree, however, that aerosol effects on global climate during the next century are likely to be secondary to those of increasing greenhouse gas concentrations.

Global Climate Response. While climate modellers are cautious in their projections of future climate, they do in general agree that increases in concentrations of atmospheric greenhouse gases during the next century are likely to result in a large global surface climate warming, perhaps unprecedented in human history. Other causes for climate change, such as variations in solar energy input or alterations in the earth's surface albedo, will continue to modulate but not significantly alter this long term trend. Furthermore, they agree that such global warming would be largest in polar regions during fall and winter seasons, that high latitude annual mean water runoff may increase significantly and that summer dryness in mid-latitude Northern Hemisphere regions will likely become more frequent. However, considerably less accord exists on the magnitude of these changes or their regional characteristics, particularly with respect to precipitation. Estimates of global warming due to equivalent CO_2 doubling vary from 1.5°C to 4.5°C or higher. Models used in these climate simulations are as yet of coarse spatial resolution, limited by computing power capabilities and subject to the limitations of inadequate parameterizations of such critical feedbacks and processes as cloud formation, sea ice, air-sea interaction, surface hydrology and ocean dynamics. Furthermore, in most model experiments the climate system is allowed to achieve equilibrium, thus not portraying the real-time delaying effect of factors such as ocean thermal inertia on the climate system response to forces of change. Hence modellers caution impact analysts that present model results should only be used as aids in developing the analytical tools for impacts research and to test biospheric and human sensitivities to climate change, not to develop definitive statements on the impacts of change.

"...models...suggest that a 0.3 to 1.1°C rise has already occurred due to the increase of greenhouse gases between 1900 AD and 1980 AD."

Several one-dimensional climate models have recently been used to model the transient response of the climate system to change. While experimental results using equilibrium climate models suggest a 1.5 to 4.5°C surface warming for equivalent doubling of CO_2, these transient response models indicate that only about 50% of the total potential effect will be achieved at the time of doubling. Hence actual climate warming by 2030 AD would likely be in the range of 0.8 to 2.3°C, with the full effects of doubling delayed by

several decades. These models further suggest that a 0.3 to 1.1°C rise has already occurred due to the increase of greenhouse gases between 1900 AD and 1980 AD.

The unequivocal detection of such effects is a high priority. Many studies of past climate records have attempted to find "the CO_2-signal". The results suggest that the past 100 year trend of a 0.3 to 0.7°C warming is compatible with the lower range of the above projections for the effect of greenhouse gases to-date. However, such a rise is still well within the bounds of natural variability over similar time scales. Furthermore, decadal scale anomalies such as the 1920-1940 rapid warming and the subsequent 1940- 1960 cooling have not as yet been adequately explained.

Impacts of Increasing CO_2/Climate Warming

Given the above limitations of future climate projections, the inadequacy of present understanding of how climate, environment and society interact and the uncertainty about how future technology will develop, impact analysts cannot as yet predict the actual consequences of a global climate change. However, as understanding improves, analytical tools required to undertake such predictions in the future are being developed. Such tools must not only deal with the direct impacts, as described in crop- climate models, for example, but must include the effects of technological developments, human decision-making feedback in response to change and, ultimately, international interaction at the market and political levels. Their development must start with the understanding of which environmental factors and human activities are sensitive to climate variability, and to what extent; these demand interaction between scientists and policy makers.

Studies directed at addressing the above objectives have already provided some important clues as to some of the first-order impacts of increased CO_2 and climate change. These studies have used both the analyses of past climate anomalies and their effects, and hypothetical case studies using doubled CO_2 climate scenarios derived from leading equilibrium general circulation models. Following are some of the conclusions that can be drawn from these studies:

GLOBAL AGRICULTURE.

- CO_2 is a plant food. Laboratory experiments clearly demonstrate that increased CO_2 concentrations benefit plant growth under controlled environments. The effect depends critically on plant type and other growth limitations. Doubling of CO_2 in such controlled environments can increase yield of C_3 plants (most plants) by 10 to 50% and C_4 crops (such as maize, sorghum, millet and sugarcane) by up to 10%. Such responses in field crops and competitive natural environments have not been clearly demonstrated and may be much less dramatic. It may also significantly affect present distribution of plants within natural ecosystems;

"...Increased CO_2 concentrations... appear to improve plant water use efficiency and hence growth potential under water-stress conditions;"

- Increased CO_2 concentrations also appear to improve plant water use efficiency and hence growth potential under water-stress conditions;
- A warmer global climate will significantly alter cropping patterns, particularly at margins of crop regions. Studies of wheat growth potential in North America under 2 x CO_2 climate scenarios suggest significant increase in extent of winter wheat production in Canada but reduced yields for spring wheat, while in southern US regions, warmer winter conditions would suggest a need to shift to spring wheat varieties. In Mexico all wheat production would be highly vulnerable to the warmer temperatures. A study of spring wheat production in the USSR, using a warmer, dryer climate scenario, implied a net decrease in yields (increasing in severity

from west to east) in the steppe and forest-steppe regions. Other studies have also suggested that yields within core regions of the mid-latitude portions of Europe could decrease by 3-17% under some 2 x CO_2 scenarios due to increased evapotranspiration and accelerated rates of plant development. These effects are ameliorated or exacerbated by increases or decreases, respectively, in precipitation. In general, crop margins can shift poleward by as much as 100 km per degree of warming. These studies do not include the direct effects of increased CO_2 that may occur coincident with climate warming;

- Rangelands and forest margins will experience similar major shifts in responses to climatic change, although the latter in its unmanaged state will do so very slowly;
- Developing countries of the tropics and subtropics already today struggle with the difficulty of responding to year-to-year variability of climate, primarily in terms of rainfall. As population pressures in these countries increase, the poorest of their people are progressively forced to expand into climatically marginal land. Hence the vulnerability and inability to cope with the effects of climate variation increases. Potential long term changes in global climate will undoubtedly have the greatest, catastrophic impacts on these areas. Yet, due to lack of data, indequate research on crop-climate interactions in these regions and the overbearing concern of dealing with today's problems of survival, very few studies have been conducted on effects of climate changes in tropical/sub-tropical regions;
- In developed countries, the effect of technological developments, policy decisions and economic factors are major influences in agricultural production and are likely to exceed those of gradual trends in climate change. However, the economic and social disruption of extreme events, such as major droughts, are much more difficult to respond to and can create over-reaction within the socio-economic system, often on global scales through international markets and trade. This can apply to extremely favourable as well as unfavourable events. Changes in the frequency of these anomalies, which will undoubtedly accompany a gradual climate change, will therefore pose the largest threat to the agricultural sector of developed countries.

WATER RESOURCES

- Water supply is affected by evapotranspiration (which changes with temperature and atmospheric humidity) and by precipitation. Some analysts feel that present projections of the impact of climate change on water resources are badly underestimated.
- Many water-resource management facilities (such as dams, reservoirs and navigation systems) that are being built today have a design life into the mid-21st century, well within the time horizon of major climate change.
- Direct CO_2 effects on plant water use efficiency observed in controlled environments suggest an increased availability of precipitation water for runoff. However increased plant productivity and/or other meteorological factors (such as wind or humidity) may offset this gain in the natural ecosystem.

"...A significant rise in global mean sea levels of 20 - 140 cm...is expected by 2050 AD;"

SEA LEVELS

- A significant rise in global mean sea levels of 20 - 140 cm due to ocean thermal expansion and temperate glacier melting, is expected by 2050 AD;
- When added to concurrent regional sea level rises occurring in some areas due to tectonic subsidence, such rises bode serious problems for some maritime regions of the world;
- A major global sea level rise of 5 - 7 m due to polar ice disintegration is not likely within the next century.

Canadian Perspectives

Canadian studies on increasing concentrations of greenhouse gases and related climate change have emphasized:

- monitoring of atmospheric CO_2 concentrations;
- measurement and modelling of the transfer of carbon and carbon dioxide within the natural carbon cycle;
- nature and impacts of major climate warming in various geographical regions in Canada.

These activities are further described in Appendix III. Following are some highlights of research results which have emerged from these studies.

"...Measurements of atmospheric CO_2 concentrations at Alert (North West Territories) and Sable Island (Nova Scotia) presently indicate...an average annual increase of 1.5 ppmv or 0.4%."

CO_2/Carbon Cycle

- Measurements of atmospheric CO_2 concentrations at Alert (North West Territories) and Sable Island (Nova Scotia) presently indicate mean annual values in 1984 of 346.2 ppmv with an average annual increase of 1.5 ppmv or 0.4%. These results are consistent with global patterns established by stations in other countries.
- Airmass trajectory analyses provide some evidence that air masses associated with high CO_2 concentration anomalies in the week-to week measurements at Alert originate in European and U.S.S.R. source regions. Ice-covered Arctic waters do not appear to be a significant source of CO_2 in winter.
- Preliminary results from analyses of data collected from North Pacific sedimentation traps indicate that as much as 5-10% of the surface primary biological productivity in these waters may sink into the deep ocean as detrital fall-out. Since sub-arctic waters are biologically highly productive in summer, this could be a major sink for excess atmospheric CO_2 which has been inadequately described in today's global carbon budget models.

Regional Climate Warming Scenarios. Climate scenarios for a warmer earth as developed by even the most advanced numerical climate models are global in scale, of coarse resolution, highly uncertain and hence as yet unsuitable for definitive studies of regional impacts of climate change. An alternative approach to use of scenarios generated by numerical models is to reconstruct analog warm climate scenarios from past climate records as case studies of what actually happened on regional scales during such real events. Although very limited in their applicability to a doubled CO_2 type climate warming, such scenarios can contribute substantially to our understanding of impacts of changing climate.

A recent study, using a variety of combinations of warm and cold periods documented in Northern Hemisphere climate data records of the past 80 years to assess the regional effects of hemispheric transitions between cold and warm (of the order of 0.2 to 0.5 C), found a number of recurring features.

These include:

- a consistently amplified warming in Arctic regions, particularly in winter and spring, accompanied by increases in storminess and precipitation;
- an area of cooling off the east coast of Canada in winter and spring;
- decreased summer precipitation and increased variability in precipitation in spring, summer and fall in interior regions of southern Canada, hence a significant increase in potential for severe drought events;
- generally increased winter precipitation and decreased fall precipitation across Canada.

An independent study into correlations between annual and seasonal temperature trends at individual Arctic stations and those of the Northern Hemisphere also suggested a mean amplification of a 1°C hemisphere warming to a 2.8C Arctic warming, although with a large confidence margin of ±1.8°C

Although the above results cannot be extrapolated for use as analogues for doubled CO_2 climate change scenarios, they help to illustrate the regional complexity of global change, support the likelihood of amplified Arctic warming and increased Arctic precipitation and serve as analogues for possible effects of more modest future warming.

"...increased moisture stress may result in a net decrease in yield of most of today's major crops in southern Ontario...excess of $100 million/year;"

Effects of CO_2 Increase/Climate Warming.

Recent studies into the sensitivity and possible response of the Canadian environment (and, consequently, socio-economic activities) to increased atmospheric CO_2 and possible related climate warming scenarios reveal the following:

1) Under 2 X CO_2 climate scenarios, agricultural growing seasons in Ontario could increase by up to 48 days in northern regions and 61 days in southern regions. Grain corn, wheat and soybeans would become viable northern Ontario crops, where soils are suitable. On the other hand, increased moisture stress may result in a net decrease in yield of most of today's major crops in southern Ontario, with potential economic losses in excess of $100 million/year;
2) Similar climate scenarios for Manitoba suggest increased crop yield potential of up to 15%. This increase would change to a net decrease in yield of up to 10% should projected increases in precipitation not occur. Crops under these warmer summer conditions would mature more rapidly (by 1 to 2 weeks). Advantages of possible earlier planting due to warmer springs would largely be negated by limited light availability at that time of year;
3) A review of approximately 70 studies on the direct effect of increased CO_2 concentrations on plant growth in controlled environments suggests that major food crops in field environments, such as wheat and corn, may realize a net increase in productivity of up to 15% if CO_2 concentrations should double. Such effects were not included in the above climate change yield studies;
4) Ice cover on the Great Lakes could disappear if winter warming exceeds 6°C. Shipping seasons would become year-round, with potential increase in shipping volumes of 15 to 30%;
5) A possible 20% decrease in water supply into the Great Lakes would reduce lake levels by 20 cm. Such reduction, when added to possible effects of increased water consumption within the Great Lakes Basin, could result in a 6% loss in shipping capacity per season (revenue loss of $12 million);
6) Per capita municipal water consumption under warmer 2 X CO_2 type climates would not increase significantly (<3%);
7) Major ecological marshes, such as that at Point Pelee, would dry out;

"...Reliable downhill skiing seasons may disappear in the Lake Huron/ Georgian Bay area..."

8) Mean winter snowfall across Ontario could decrease by 20-60 cm in southern Ontario and up to 100-200 cm in snow belt regions. Reliable downhill skiing seasons may disappear in the Lake Huron/Georgian Bay area and be reduced by 35 to 40 % in the Lakehead area, with potential industry and local economic impacts in excess of $50 million/ year. Such losses would be partially offset by longer summer recreational seasons;
9) Winter warming under typical 2 X CO_2 scenarios could decrease Ontario residential heating requirements by 30 to 45%, although summer cooling requirements would increase by 6-7%.

Public Awareness

At the recent international meeting of experts at Villach, Austria (*see Appendix I*), participants concluded that climate change is of considerable importance to many major social, economic and political decisions being made today. Hence they:

i) strongly recommended the promotion of an increased public awareness of the issue;
ii) advised international and national policy makers to take note of the findings of the meeting in their decision making;
iii) encouraged scientists and policy makers to collaborate in the development of strategies for mitigative and adaptive actions that may become necessary.

However, the transfer of an improved understanding of the CO_2/Climate issue is hindered by the distinctly different approaches towards environmental issues commonly used by scientists and policy makers. While scientists study individual environmental issues, such as acid rain, ozone depletion, arctic haze and climate change, in comparative isolation from each other and somewhat removed from social, economic and political factors, policy makers require information on the broad environmental implications of their social, economic and political decisions. Hence, a primary step in successful transfer of awareness of an issue such as climate change to the non-scientist is to place it within the context of the broader global environmental concerns and illustrate its relationship to specific human activities, as shown in Figure II. Inter-relationships between major environmental issues in this context become important. For example, mitigative action to reduce the threat to the protective ozone layer by reducing emissions of chlorofluorocarbons also delays potential greenhouse warming, since these man-made gases are powerful greenhouse

"...a primary step in successful transfer of awareness of an issue such as climate change to the non-scientist is to place it within the context of the broader global environmental concerns and illustrate its relationship to specific human activities..."

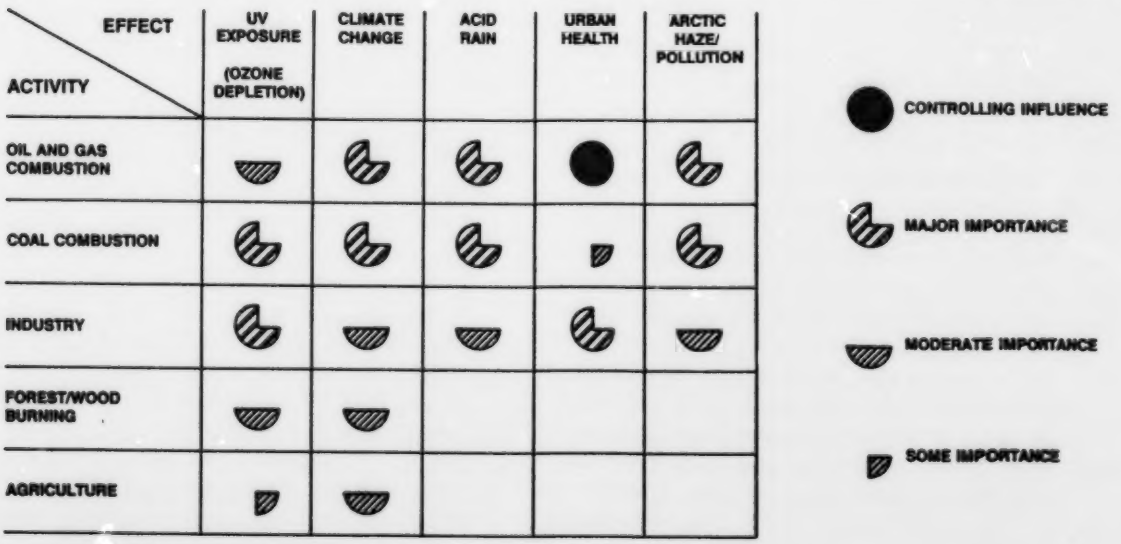

Figure II. Interaction between man and environment illustrating the common origins of environmental effects and the multiple environmental implications of human activities. Adapted from Clark, 1985.

gases as well. Similarly, reduction of use of coal for energy to reduce CO_2 emissions would also reduce SO_2 emissions and hence acid rain, decrease Arctic haze conditions and improve urban health. This inter-relationship between environmental issues was presented by the Villach participants as a conclusion of primary importance in the development of response strategies.

Promotion of awareness of the CO_2/climate issue among scientists, policy makers and the general public has centered on the publication of an information newsletter "*CO_2/Climate Report*" and the distribution of the 1984 annual report "*Understanding CO_2 and Climate*". These publications are mailed to a list of approximately 800 addresses. In addition, seminars on the subject were presented, upon request, to a broad variety of audiences, including high school students, university classes, senior government officials, scientists and senior citizens. Requests for additional information from university students for assistance in course project assignments increased during the past year. With respect to the public news and information media, although the extent of coverage on the topic diminished somewhat, the focus of the coverage shifted noticably from news articles to more in-depth feature articles on a major environmental concern.

Conclusions

Accurate assessment of the implications of increasing concentrations of atmospheric greenhouse gases is not as yet possible due to the constraints of inadequate scientific understanding. Uncertainty about the future rate of increase of one of the most important of these gases, carbon dioxide, has actually increased. Hence, formulations of appropriate, concrete strategies for prevention or adaption remains problematic. However, a number of basic, perhaps sobering conclusions can be itemized, as follows:

1) Major global climate change is now in progress;

"...policy makers should already make allowance for the influence of future climate change in many of today's decisions on long term social and economic activities;"

2) Such change will have important, possibly dominant effects on the social, economic and political activities of our future national and global societies;
3) Our energy policies of today *will* determine how much and how soon climate will change;
4) Of equal importance will be our policies on the emission of other industrial greenhouse gases;
5) These policies will be of major importance to other major global environmental issues, such as acid rain, ozone depletion and arctic haze, as well;
6) Policy makers should already make allowance for the influence of future climate change in many of today's decisions on long term social and economic activities;
7) Scientists and policy makers should now be cooperatively developing response strategies for immediate implementation when, and if, such responses become imperative.

These conclusions demand a continued aggressive program, nationally and internationally, for improving our scientific understanding of this issue *and* how it interacts with other major environmental concerns. They indicate the need for increased interaction and cooperation among decision makers, economists, physical scientists and social scientists. For this, issue awareness is a prerequisite. Above all, they demand the attention of the international community, particularly that of the developed nations, to the primary cause of this and many of the other major environmental issues - that is, the ability and increasing tendency of humans to experiment, in an uncontrolled and unplanned manner, with our planetary atmospheric composition. The evidence is undeniable!

APPENDIX I

CONFERENCE STATEMENT

FROM THE UNEP/WMO/ICSU

International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts

VILLACH, AUSTRIA, 9-15 OCTOBER 1985

A joint UNEP/WMO/ICSU Conference was convened in Villach (Austria) from 9 to 15 October 1985, with scientists from twenty nine developed and developing countries, to assess the role of increased carbon dioxide and other radiatively active constituents of the atmosphere (collectively known as greenhouse gases and aerosols) on climate changes and associated impacts. The other greenhouse gases reinforce and accelerate the impact due to CO_2 alone. As a result of the increasing concentrations of greenhouse gases, it is now believed that in the first half of the next century a rise of global mean temperature could occur which is greater than any in man's history.

The conference reached the following conclusions and recommendations:

1) Many important economic and social decisions are being made today on long-term projects – major water resource management activities such as irrigation and hydro-power, drought relief, agricultural land use, structural designs and coastal engineering projects, and energy planning – all based on the assumption that past climatic data, without modification, are a reliable guide to the future. This is no longer a good assumption since the increasing concentrations of greenhouse gases are expected to cause a significant warming of the global climate in the next century. It is a matter of urgency to refine estimates of future climatic conditions to improve these decisions.
2) Climate change and sea level rises due to greenhouse gases are closely linked with other major environmental issues, such as acid deposition and threats to the Earth's ozone shield, mostly due to changes in the composition of the atmosphere by man's activities. Reduction of coal and oil use and energy conservation undertaken to reduce acid deposition will also reduce emissions of greenhouse gases. A reduction in the release of chloro-fluorocarbons (CFCs) will help protect the ozone layer and will also slow the rate of climate change.
3) While some warming of climate now appears inevitable due to past actions, the rate and degree of future warming could be profoundly affected by governmental policies on energy conservation, use of fossil oils, and the emission of some greenhouse gases.

These conclusions are based on the following consensus of current basic scientific understanding:

- The amounts of some trace gases in the troposphere, notably carbon dioxide (CO_2), nitrous oxide (N_2O), methane (CH_4), ozone (O_3) and chloro-fluorocarbons (CFC), are increasing. These gases are essentially transparent to incoming radiation and are thus able to influence the Earth's climate.
- The role of greenhouse gases other than CO_2 in changing the climate is already about as important as that of CO_2. If present trends continue, the combined concentrations of atmospheric CO_2 and other greenhouse gases would be relatively equivalent to a doubling of CO_2 from pre-industrial levels possibly as early as the 2030's.
- The most advanced experiments with general circulation models of the climatic system show increases of the global mean equilibrium surface temperature for a doubling of the atmospheric CO_2 concentration, or equivalent, of between 1.5 and 4.5°C. Because of the complexity of the climatic system and the imperfections of

the models, particularly with respect to ocean-atmosphere interactions and clouds, values outside this range cannot be excluded. The realization of such changes will be slowed by the inertia of the oceans. The delay in reaching the mean equilibrium temperatures corresponding to doubled greenhouse gas concentrations is expected to be a matter of decades.

- While other factors such as aerosol concentrations, changes in solar energy input, and changes in vegetation may also influence climate, the greenhouse gases are likely to be the most important cause of climate change over the next century.
- Regional scale changes in climate have not yet been modelled with confidence. However, regional differences from the global averages show that warming may be greater in high latitudes during late autumn and winter than in the tropics, annual mean runoff may increase in high latitudes, and summer dryness may become more frequent over the continents at middle latitude in the Northern Hemisphere. In tropical regions, temperature increases are expected to be smaller than the average global rise, but the effects on ecosystems and humans could have far reaching consequences. Potential evapotranspiration probably will increase throughout the tropics whereas in moist tropical regions convective rainfall could increase.
- It is estimated on the basis of observed changes since the beginning of this century, that global warming of 1.5°C to 4.5°C would lead to a sea-level rise of 20-140 centimeters. A sea level rise in the upper portion of this range would have major direct effects on coastal areas and estuaries. A significant melting of the West Antarctic ice sheet leading to a much larger rise in sea level, although possible at some future date, is not expected during the next century.
- Based on analyses of observational data, the estimated increase in global mean temperature during the last one hundred years of between 0.3 and 0.7°C is consistent with the projected temperature increase attributable to the observed increase in CO_2 and other greenhouse gases, although it cannot be ascribed in a scientifically rigorous manner to these factors alone.
- Based on evidence of effects of past climatic changes, there is little doubt that a future change in climate of the order of magnitude obtained from climate models for a doubling of the atmospheric CO_2 concentration could have profound effects on global ecosystems, agriculture, water resources and sea ice.

Recommended Actions

1. Governments and regional intergovernmental organizations should take into account the results of this assessment (Villach 1985) in their policies on social and economic development, environmental programmes, and control of emissions of radiatively active gases.
2. Public information efforts should be increased by international agencies and governments on the issues of greenhouse gases, climate change and sea level, including wide distribution of the documents of this Conference (Villach 1985).
3. Major uncertainties remain in predictions of changes in global and regional precipitation and temperature patterns. Ecosystem responses are also imperfectly known. Nevertheless, the understanding of the greenhouse question is sufficiently developed that scientists and policymakers should begin an active collaboration to explore the effectiveness of alternative policies and adjustments. Efforts should be made to design methods necessary for such collaboration.
    i) Governments and funding agencies should increase research support and focus efforts on crucial unsolved problems related to greenhouse gases and climate change. Priority should be given to national and international scientific programme initiatives such as (a) the World Climate Research Programme (WMO/ICSU), (b) present and proposed efforts on biogeochemical cycling and tropospheric

chemistry in the framework of the Global Change Programme proposed by ICSU, (c) National Climatic Research Programmes. Special emphasis should be placed on improved modelling of the ocean, cloud-radiation interactions, and land surface processes.

(ii) Support for the analysis of policy and economic options should be increased by governments and funding agencies. In these assessments the widest possible range of social responses aimed at preventing or adapting to climate change should be identified, analyzed and evaluated. These assessments should be initiated immediately and should employ a variety of available methods. Some of these analyses should be undertaken in a regional context to link available knowledge with economic decision-making and to characterize regional vulnerability and adaptability to climatic change. Candidate regions may include the Amazon Basin, the Indian subcontinent, Europe, the Arctic, the Zambesi Basin, and the North American Great Lakes.

4. Governments and funding institutions should strongly support the following:
   (i) Long-term monitoring and interpretation with state-of-the-art models of:
      (a) radiatively important atmospheric constituents in addition to CO_2, including aerosols,
      (b) solar irradiance, and
      (c) sea level.
   (ii) Study and interpretation of the past history of climate and environment, specially regarding interactions among the atmosphere, oceans and ecosystems.
   (iii) Studies of the effects of atmospheric composition and of changing climatic extremes on sub-tropical and tropical ecosystems, boreal forests, and on water regimes.
   (iv) Investigations of the sensitivity of the global agricultural resource base with respect to:
      (a) direct effects of increases in atmospheric CO_2 and other greenhouse gases,
      (b) effects of changes in climate, and
      (c) probable combinations of these.
   (v) Evaluation of social and economic impacts of sea level rises.
   (vi) Analysis of policy-making procedures under the kinds of risks implied by a significant greenhouse warming.

5. UNEP, WMO and ICSU should establish a small task force on greenhouse gases, or take other measures, to:
   (i) help ensure that appropriate agencies and bodies follow up the recommendations of Villach 1985,
   (ii) ensure periodic assessments are undertaken of the state of scientific understanding and its practical implications,
   (iii) provide advice on further mechanisms and actions required at the national or international levels,
   (iv) encourage research in developing countries to improve energy efficiency and conservation,
   (v) initiate, if deemed necessary, consideration of a global convention.

APPENDIX II

INTERNATIONAL CO_2/CLIMATE RESEARCH

International Programs

The global nature of concerns about atmospheric composition, planetary climate and global change necessitates the direct involvement of international organizations in the stimulation, planning and coordination of related research efforts. Several international agencies are presently cooperating in pursuing these objectives with respect to greenhouse gases and climate change. These include:

The World Meteorological Organization (WMO) —This United Nations agency, responsible for global coordination of meteorological and climatological matters, provides the lead role in coordinating and promoting research in atmospheric composition and climate change. This is primarily provided through the research component of The World Climate Programme (WCP). WMO addresses the needs, and develops plans for implementation by member nations, to intensively monitor the global atmospheric composition and advance the basic understanding of atmospheric, oceanic and ice processes within the climate system. It also convenes regular meetings and symposia to review results and coordinate activities, and publishes related reports. Several recent WMO events and publications on this issue are listed in the following sections of Appendix II.

International Council of Scientific Unions (ICSU) —ICSU cooperates with WMO as an active participant in the World Climate Research Program. In addition, through its Global Change Programme, it is attempting to increase interaction and cooperation between its discipline-oriented member unions in the study of global change issues. ICSU has recently convened several international meetings and symposia to address this objective.

United Nations Environment Programme (UNEP)—With the assistance of WMO, UNEP promotes, and to a limited extent sponsors, research into the impacts of climate on society, particularly in sensitive marginal areas. Undertaken under the framework of the World Climate Impacts Programme (WCIP) of the WCP, these activities have for the past several years focussed on pilot studies of climate impacts in cold margin and dry margin regions. Results of these studies, coordinated by the **International Institute for Applied Systems Analysis** in Laxenburg, Austria, are being published as two major reports (Parry et al, 1986).

Commission of European Communities (CEC) —The CEC sponsors climate change research activities amongst its member nations through two climate - related research programs, dealing with the physical understanding of the climate and with man-climatic interactions. While 50% of funding for all projects undertaken under these programs is provided by the nation in which the project investigator resides, the remainder is resourced from a CEC 5-year program budget of $8 million ECU ($9 million Canadian). Review meetings are convened at regular intervals.

The WMO, UNEP and ICSU cooperated in sponsoring a milestone major assessment of the CO_2/climate issue in October, 1985. They invited approximately 100 experts and policy makers from 29 countries to Villach, Austria to participate in evaluating the state-of-the-art understanding of the issue and to develop recommendations on future action. The primary results of the meeting included a major official statement on the CO_2/climate concern (*Appendix I*) and a voluminous review

document on the subject. The review was prepared for the meeting by 21 international experts under the coordination of the International Meteorological Institute in Stockholm (see Bolin et al, 1986). It is to be published as a Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) report.

Non-scientific international agencies are also taking note of global environmental issues such as that of climate change. Indicative of this interest is the recent statement by European energy ministers at a Paris meeting of the International Energy Agency, which identified the need to: promote environmentally favourable technologies in energy development; encourage efficient use and conversion of energy through economic measures; and coordinate environmentally-sensitive energy policies on a global level.

National Programs

At the national level, many countries are now participating in research activities important to the improved understanding of greenhouse gas emissions and climate change. Most of these activities are conducted within existing programs on climate and environment and as integral parts of international programmes such as WCP. However, several countries, particularly the United States of America and the Federal Republic of Germany (FRG), have established major national CO_2/climate change research programs. The lead agency in the USA program is the U.S. Department of Energy, which in 1985 allocated $13.3 million (US) to specific research studies at a wide variety of research centres and to the assessment of the present state of understanding. Several review volumes on this understanding, originally scheduled for release in 1985, are in final preparation and should be released in early 1986. Several other U.S. agencies are also actively involved, including the Department of Agriculture, the National Research Council and the National Oceanographic and Atmospheric Administration, which operates a Geophysical Monitoring for Climate Change program.

The FRG program for CO_2/climate research is administered by the Ministry for Research and Technology, which presently provides approximately 15.5 million dm/year (~ $8 million Canadian) to research institutes across the nation for improving the understanding of the ecosystem/climate/man interaction. Most of these studies deal with core research activities, which do not include the investigation of impacts of climate change. The funding for this program is likely to be doubled within the next few years.

Some Recent International Meetings on CO_2 and Climate

January, 1985. *Third Conference on Climate Variations: Symposium on Contemporary Climate*, 1850-2100, Los Angeles, California.

March, 1985. *Annual Conference on Global Monitoring of Climate Change (GMCC)*, Boulder, Colo.

May, 1985. *Climate - Related Impacts Networkshop*, Boulder, Colorado.

September, 1985. *Conference on Atmospheric CO_2 - Its Sources, Sinks and Global Transport*, Kandersteg, Switzerland.

September, 1985. *Sigma Xi International CO_2 Climate Teleconference*, from Washington, D.C.

October, 1985. *WMO/UNEP/ICSU Second Joint International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts*, Villach, Austria (General Chairman - Mr. J.P. Bruce of Canada).

October, 1985. *Snow Watch 1985: Workshop on CO_2/Snow Interaction*, U. of Maryland.

November, 1985. *WMO Meeting of CO_2 Experts*, Lake Arrowhead, California.

Recent Reports and Books

Bolin, B., Doos, B.R., Jager, J. (editors), 1986, *An Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Radiatively Active Constituents in Climate Variations and Associated Impacts*, a background working document for the 1985 Villach meeting of experts, approx. 500 pp. (to be published as a SCOPE report).

Clark, W.C. 1985, *On the Practical Implications of the Carbon Dioxide Question*, IIASA WP-85-43, background working paper for 1985 Villach meeting of experts.

Clark, W.C., Munn, R.E. (editors), 1985, *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge University Press.

Edmonds, J., Reilly, J.M., 1985, *Global Energy : Assessing the Future*, Oxford University Press.

Ghazi, A (editor), 1984 *Stratosphere : Proceedings of a Working Party Meeting*, Commission of European Communities, 182 pp.

Hare, F.K., 1985, *Climate Variations, Drought and Desertification*, World Meteorological Organization Rep. #653.

Kates, R.W., Ausubel, J.H. Berberian, M. (editors), 1985, *Imposing the Science of Climate Impact Assessment*, Wiley.

Koomanoff., F.A., et al., 1985, *CO_2 and Climate: Summaries of Research in FY 1985*, US Department of Energy.

Parry, M.L., Carter, T.R., Konijn, N.T. (editors), 1986, *Assessment of Climate Impacts on Agriculture, Vol. 1: In High Latitude Regions*, and *Vol. 2: In Semi-arid regions*, Reidel Publishing.

Sundquist, E.T., Broecker, W.S. (editors), 1985, *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide : Natural Variations, Archaen to Present*, American Geophysical Union Monograph 32.

APPENDIX III

CO_2/CLIMATE RESEARCH IN CANADA

Background

Studies into increasing concentrations of greenhouse gases, their possible effects on climate, and implications for society are conducted in Canada as part of core government research programs, as university research programs funded by Natural Science Engineering Research Council of Canada (NSERC) grants and as specially funded projects under the auspices of the Canadian Climate Program (CCP). The latter program has received funding of $3.8 million over a three-year period (1984-87) for improvement in climate prediction capability and for assessment of the effects of climate change. Most of these resources are being directed to the university community through contracts and sponsorship of climatology chairs at several institutions. The first such chair will be introduced at McGill University in 1986. A request for approval for additional resources beyond the 1984-87 time period is being prepared for submission to Treasury Board.

Specific Research Activities

CO_2/Carbon Cycle. Canadian participation in the WMO coordinated global monitoring of background atmospheric CO_2 concentrations continued with the collection and analysis of weekly air samples at Alert (NWT), Sable Island (N.S.) and Cape St. James (B.C.). Data from this cooperative program between the Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada and the Marine Carbon Research Centre (MCRC) of Fisheries and Oceans Canada are routinely forwarded to WMO for inclusion in a global database. Full responsibility for the collection and analysis of CO_2 data from these three stations will be assumed by AES during the 1986/87 fiscal year. Meanwhile the Alert station will be upgraded to a continuous monitoring capability to provide data for carbon budget process studies. Construction of an appropriate laboratory will be completed in summer of 1986. Development of methodologies of measurement of other greenhouse gases, including methane, chlorofluorocarbons, nitrous oxide and tropospheric ozone, is also underway for eventual implementation at Alert.

A fourth Canadian CO_2 sampling station at Mould Bay is jointly operated by AES and the US National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) as part of a complementary American program for Geophysical Monitoring of Climate Change.

The primary focus of activities at the Marine Carbon Research Centre is the study of CO_2 concentrations in and over North Pacific ocean waters, the measurement of the flux of organic carbon into the deep ocean by means of sediment traps, and the modelling of ocean carbon cycle processes. These efforts are, however, seriously resource constrained. Other scientists at AES and at several Canadian universities are also involved in research into the processes involved in the global carbon cycle. Recently a group of 14 such scientists, including researchers from AES and MCRC agreed to form a Canadian modelling group on the global physical and biogeochemical cycles to serve as a forum for exchange of information, coordination of research activities and initiation of cooperative research projects within the group. It will meet formally on an annual basis.

Agriculture Canada and several Canadian university research centres, including U. of Guelph and MacDonald College (McGill U.), are actively involved in ongoing programs studying the processes of CO_2 exchange between the atmosphere and the biosphere. During the past year, development of technologies and models for estimating crop

yields from CO_2 exchange measurements was completed by Agriculture Canada scientists. These technologies, together with trajectory simulation models developed at U. of Guelph will be used in future in cooperative Agriculture Canada/AES/university studies into major Canadian sources and sinks of atmospheric CO_2 for input into global budget models.

A number of university centers are involved in studies of the effect of high atmospheric CO_2 levels on the enrichment of vegetation growth in controlled chambers. Universities involved include the University of British Columbia, U. of Guelph, U. of Manitoba and McGill University. These studies have as yet not examined such effects under field conditions.

CO_2 and Climate. The three-dimensional general circulation model (GCM) under development at the Canadian Climate Centre (CCC) now includes an interactive mixed layer ocean component and appropriate sea ice feedback parameterization. Difficulties with the response of the hydrological processes in the model have however delayed its use for studies into the effect of increased greenhouse gas concentrations on climate. Such experiments are anticipated in 1986. Meanwhile, studies into the behaviour of various climate system processes, in order to improve their parameterization within larger models, are continuing with the use of a one-dimensional climate model.

During the past year CCC evaluation and study of results of climate model experiments into effects of increased CO_2 concentrations on climate, provided by American GCM modellers at the Goddard Institute In Space Studies (GISS) and the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), have focused on comparison of model control runs for normal CO_2 levels with Canadian climate normals and on further intercomparison of the elevated CO_2 experiments. Meanwhile further studies into regional characteristics of past hemispheric warm periods during the last 80 years of climate records have provided several analog scenarios as to possible regional effects of a modest global warming of 0.2 to 0.5°C.

Impacts of Climate Change. Several government research centres and university groups are prominently involved in investigating the sensitivity of the Canadian environment and hence its socio-economic activities to various climate warming scenarios. Universities of Windsor, Guelph and Manitoba are presently near completion of the second of three possible phases of CCP funded contract studies into the potential implications of climate change on economic activities in the Great Lakes system, and on Ontario and Prairie agriculture, respectively.

Meanwhile, the Ontario Region of Environment Canada is coordinating a comprehensive assessment, in cooperation with other government agencies and universities, of the response of a broad spectrum of socio-economic activities in Ontario to climate change. A report will be released in 1986. Contracted pilot studies into the effects of a possible 1-metre sea level rise on Greater Vancouver, Saint John, N.B. and Charlottetown, P.E.I. have also been initiated by AES regional offices in Vancouver and Bedford.

Some Recent Canadian Publications re CO_2 and Climate Change

Arthur, L.M., Kraft, D.K., 1985:

1) *Towards a Socio-Economic Assessment of the Implications of Climatic Change for Manitoba and the Prairie Provinces, Phase I;*
2) *Enhanced Productivity of Atmospheric CO_2 Enrichment;*
3) *Extent and Agricultural Capability of Soils of the Northern Prairies* Canadian Climate Program contract reports, Department of Agricultural Economics and Farm Management, U. of Manitoba.

Barrie, L.A., Fisher, D., Koerner, R.M., 1985, *Twentieth Century Trends in Arctic Air Pollution Revealed by Conductivity and Acidity Observations in Snow and Ice in the Canadian High Arctic,* Atmospheric Environment Vol. 19 (12), 2055-2063.

Boer. G.J., McFarlane, N.A., Laprise, R. Henderson, J.D., Blanchet, J-P., 1984, *The Canadian Climate Centre Spectral Atmospheric GCM*, Atmosphere- Ocean Vol. 22 (4), 397-429.

Crowe, R.B., 1985, *Effect of Carbon Dioxide Warming Scenarios on Total Winter Snowfall and Length of Winter Snow Season in Southern Ontario*, Canadian Climate Centre Report #85-19, 55 pp.

Da Silva, C.P., 1985, *Impacts of a 2 x CO_2 Induced Climate Change on the Koppen Climate Classification in Canada*, U. of Waterloo Dept. of Geography, 40 pp. and Appendix.

M.M. Dillon Ltd, 1985, *CO_2/Climate Literature Review Phase IV : Paleo-climatology*, AES contract report, 46 pp. and Appendix.

Dobson, F., 1984 *The Oceans and How They Affect Climate*, Chinook Vol. 6 (4), 88-91.

Etkin, D., MacDonald, W., 1986, *Annual and Seasonal Climate Scenarios for a Warmer Arctic*, Canadian Climate Centre Report #86-1, 70 pp.

Harington, C.R. (editor), 1985, *Climate Change in Canada 5: Critical Periods in the Quarternary Climate History of Northern North America*, Syllogeus 55, National Museums of Canada, 482 pp.

Harington, C.R., Rice, G. (editors), 1984, *Climate Change in Canada 4: Annotated Bibliograph of Quaternary Climatic Change in Canada*, Syllogeus 51, National Museums of Canada.

Higuchi, K., Daggupaty, S.M., 1985, *On Variability of Atmospheric CO_2 at Station Alert*, Atmospheric Environment Vol. 19 (12), 2039-2044.

Maybank, J., 1985, *Climate Change is Food for You*, Chinook Vol 7(2), 20-22.

MEP Company, 1985, *Canadian Seasonal Climate Scenarios for a CO_2 - Induced Global Warming*, AES contract report, 132 pp. and Appendices.

Pollard, D.F.W., 1985, *A Forestry Perspective on the Carbon Dioxide Issue*, The Forestry Chronicle, August, 312-318.

Timmerman, P., Grima, A.P. (editors), 1985, *Climate Impact Assessment in the Great Lakes Basin : Overview and Research Recommendations* (Summary workshop report), Institute for Environmental Studies Environmental Monograph #7, 32 pp.

Wall, G., Harrison, R., Kinnaird, V., McBoyle, G., Zumlan, C., 1985, *Climatic Change and Its Impact on Ontario Tourism and Recreation*, AES Final Contract report, 111 pp.

Williams, G.D.V., 1985, *Estimated Bioresource Sensitivity to Climatic Change in Alberta, Canada*, Climatic Change Vol. 7(1), 55-69.

Information Transfer Re CO_2/Climate

Meetings/Seminars: 1985

January, 1985 – Paleoclimatology Workshop, Ottawa

February, 1985 – Workshop on Climate Impact Assessment in the Great Lakes Basin, King City.

March, 1985 – Seminar, Oakville Trafalgar High School, Grade 11/12 students (H. Hengeveld)
– Presentation to Environment Canada Senior Management Committee, Ottawa (H. Hengeveld)
– Seminar, Ottawa Discussion Club (H. Hengeveld)

May, 1985 – Seminar, Meeting of Northern Programs Working Group, Edmonton (H. Hengeveld)

September, – 1985 Meetings with scientists at CO_2 monitoring centres in Sweden and Norway (N. Trivett)

October, 1985 – meetings with scientists at CO_2/climate research centres in Federal Republic of Germany, Netherlands and Belgium. (H. Hengeveld)

November, 1985 – Poster display at Environment Canada's National Meeting, Ottawa
– Technical Meeting on the Modelling of the Global Biogeochemical Cycle of Carbon, Downsview.
– Seminar, U. of Windsor (H. Hengeveld)
– Seminar, Climate Services Workshop, Downsview (H. Hengeveld)

December, 1985 – Seminar, AES scientists, Downsview (H. Hengeveld)

In addition to the above, AES staff also provided a variety of briefings on CO_2 and Climate to policy makers, students and members of the general public.

Media

Radio interviews with Environment Canada scientists and managers on the greenhouse effect were recorded for the CBC radio programs "Discovery" and "Saskatchewan Today." In addition a number of interviews were provided to various radio stations with respect to the WMO/UNEP/ICSU conference of experts held in Villach in October. TV Ontario is planning a major one-hour documentary on the 'Greenhouse Effect' as part of its VISTA series, although project funding problems have as yet not been resolved. Finally, several major newspapers featured indepth articles on the CO_2/climate issue. In general, a noticeable and significant shift in media interest in this issue appears to be taking place, from that of news coverage to one of the investigation of an important environmental concern.

Policy Makers/General Public

The distribution of reports and newsletters on the CO_2/climate issue continues to be an effective and important means of transfer of information to the non-scientific community. The mailing list for the annual report on *Understanding CO_2 and Climate* and the newsletter *CO_2/Climate Report* includes approximately 600 addressees within the policy-making and teaching communities, and the general public. At their request, copies are also being forwarded to the Parliamentary Standing Committee on Fisheries and Oceans and the Canadian Environmental Advisory Council. Continued requests for information on the CO_2/climate issue from students in educational institutions are also indicative of an increasing focus on global environmental concerns within school curriculae.

Comprendre le CO_2 et le climat

Rapport annuel 1985

Printemps 1986
Centre climatologique canadien
Service de l'environnement atmosphérique

Table des Matières

	Page
SOMMAIRE ADMINISTRATIF	1
RAPPORT ANNUEL	
Introduction	3
État des connaissances scientifiques	
Composition de l'atmosphère	3
Effets sur le climat mondial	6
Effets de l'augmentation du CO_2 et du réchauffement climatique	7
Perspectives canadiennes	
Cycle du CO_2 et du carbone	10
Scénarios régionaux du réchauffement climatique	11
Effets de l'augmentation du CO_2 et du réchauffement climatique	11
Sensibilisation du public	12
Conclusions	14
APPENDICES	
I Déclaration, conférence conjointe PNUE-OMM-CIUS	16
II Recherches internationales sur le CO_2 et le climat	20
III Recherches canadiennes sur le CO_2 et le climat	23

Le CO_2 et le climat

SOMMAIRE ADMINISTRATIF

Internationalement, l'inquiétude manifestée au sujet de l'augmentation de la concentration mondiale des gaz atmosphérique à effet de serre (comme le gaz carbonique, les hydrocarbures chlorofluorés, le méthane etc.) et sur ce que cela implique est toujours en tout premier plan. Bien qu'une décennie de recherche scientifique et de débats ait contribué, de façon marquée à préciser la situation, de nombreuses questions demeurent sans réponse. Au cours de l'année 1985, d'importantes études internationales menées par de grands experts et de nouveaux progrès signalés par les chercheurs ont encore confirmé l'importance de la question pour le monde entier et pour chaque pays. Voici, à la lumière de ces éléments, quelques conclusions clés.

CO_2 et climat:

- L'époque du doublement du CO_2 dans l'atmosphère, par rapport à sa présense avant l'ère industrielle, dépend, dans une large mesure de l'évolution, à l'échelle mondiale, de la consommation de l'énergie. Cette évolution dépend, à son tour, des prises de décisions, qui sont à la fois complexes et particulièrement imprévisibles. Il s'ensuit que:
  - les taux d'émissions de CO_2 continueront à être difficiles à prévoir
  - il existe un potentiel considérable au niveau des politiques gouvernmentales, nationalement et internationalement, pour influencer ces taux d'émissions et donc la rapidité et l'ampleur du changement climatique résultant.
- Si, pour la concentration en gaz à effet de serre autres que le CO_2, la tendance actuelle persiste, un réchauffement à l'échelle mondiale équivalent à celui qui résulterait d'un doublement du CO_2, pourrait avoir lieu dès l'an 2030 et très probablement avant l'an 2050.
- En sciences de l'atmosphère, il appert que l'accord soit général quant à la manifestation d'un réchauffement mondial sensible, qui constituera probablement un fait sans précédent dans l'histoire de l'humanité.
- On prévoit qu'un tel réchauffement sera plus important sous les hautes latitudes au cours de l'automne et de l'hiver et qu'il sera probablement accompagné d'étés plus secs sous les latitudes moyennes de l'hémisphère nord, d'un plus grand ruissellement sous les hautes latitudes et d'une élévation de 0,2 à 1,4 m du niveau moyen des océans. Les caractéristiques régionales d'un réchauffement mondial ne peuvent, actuellement, être définies avec un degré suffisant de certitute.
- Les causes et effets d'une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et d'un changement climatique qui en résulte sont associés à d'autres grands phénomènes environnementaux dans le monde comme les pluies acides, la brume arctique et la diminution de la couche d'ozone. Par conséquent, l'action sur l'un de ces éléments aura des incidences importantes sur les autres et la réduction recherchée exige qu'on envisage globalement les questions environnementales.

Incidences

- Les preuves dont nous disposons sur les effets des changements climatiques passés appuient la conclusion selon laquelle un grand réchauffement climatique causé par une augmentation de l'effet de serre aura dans le monde des conséquences profondes sur les écosystèmes, l'agriculture, les ressources en eau et les glaces en mer. Les grandes décisions économiques et sociales à long terme doivent donc tenir compte de ces effets dès maintenant.
- Les pays pauvres, en développement, auront le plus de mal à réagir au changement climatique et, par conséquent, sont particulièrement vulnérables aux conséquences catastrophiques d'un tel changement.

- Une grande partie de la population du globe sera touchée par la montée d'un mètre du niveau des océans.
- Au Canada :
  - l'agriculture bénéficiera de façon marquée des saisons de croissance plus chaudes et plus longues, particulièrement dans les régions septentrionales;
  - l'augmentation du CO_2 pourrait directement améliorer la croissance des cultures de plein champ (accroissement pouvant atteindre 15%);
  - dans les régions du sud, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité de la sécheresse risque de nuire à l'agriculture de façon marquée;
  - il se peut que la saison des glaces disparaisse dans les Grands Lacs et que la navigation augmente de 15 à 30%;
  - l'apport restreint du bassin versant des Grands Lacs risque de causer une baisse du niveau des lacs de 20 cm, ce qui entraînerait une diminution nette de la capacité saisonnière de navigation de 6%. Les grands marais écologiques comme celui de Point Pelee risquent de disparaître ou d'être pronfondément modifiés;
  - l'industrie du ski alpin risque de disparaître dans le sud de l'Ontario puisque l'on ne pourrait compter sur la neige que plus au nord. L'effet net sur l'économie connexe de l'Ontario, probablement de plus de 50 millions de dollars par an, serait au moins en partie compensé par une saison de loisirs estivaux plus longue.

Mesures à prendre

- Prêter une plus grande attention aux effets possibles d'un changement climatique futur dans les grandes décisions ayant trait à la planification sociale et économique à long terme dans les domaines sensibles au climat.
- Renforcer la sensibilisation du public.
- Encourager les recherches portant sur les connaissances scientifiques fondamentales et sur la sensibilité au Canada de l'environnement et des activités socio-économiques à un grand changement climatique.
- Entreprendre des études coopératives entre dirigeants et chercheurs scientifiques sur les options futures de stratégies d'atténuation et d'adaptation.

RAPPORT ANNUEL 1985

Introduction

Les mesures mondiales de la composition de l'atmosphère, ainsi que d'importants indicateurs comme les substances chimiques que l'on trouve dans la neige et dans la glace dans les régions polaires, prouvent que la marque de l'homme est clairement en évidence dans les régions les plus isolées et les plus inaccessibles de la terre. Cette tendance, qui va en s'accroissant, représente une menace pour le bien-être de notre planète. Elle apparaît dans nos recherches scientifiques sous plusieurs éléments particuliers mais majeurs du problème environnemental mondial, comme les pluies acides, l'épuisement de l'ozone, la brume arctique, le changement climatique et la santé humaine dans les villes.

Le changement climatique, qui ne représente que l'un des grands aspects du problème, risque pourtant de devenir le plus grave. Il a donc capté l'attention des organismes de recherche nationaux et internationaux du monde entier. Pour les Canadiens, qui vivent à la bordure habitable de la zone de grands froids et qui sont donc vulnérables, les incidences d'un grand changement climatique mondial présentent une importance économique, sociale et politique toute particulière. Le Canada doit donc d'une part participer activement à l'amélioration de la compréhension scientifique du problème et, d'autre part, être conscient qu'il doit se tenir prêt à prendre des mesures d'atténuation et d'adaptation.

Le présent document est le troisième rapport d'une série que publie Environnement Canada chaque année et qui s'intitule "Comprendre le CO_2 et le climat". On fait ainsi part brièvement de l'état des connaissances sur la question, à l'échelle mondiale comme à l'échelle canadienne. Les appendices fournissent des renseignements complémentaires, soit dans le présent numéro, un exposé officiel sur le rôle des gaz à effet de serre dans les variations climatiques, rédigé lors d'une réunion internationale d'experts qui s'est tenue à Villach, en Autriche, en octobre 1985 (appendice I), ainsi que l'état actuel des activités et des rapports de recherche sur la question à l'échelle internationale (appendice II) et à l'échelle canadienne (appendice III).

État des connaissances scientifiques: Examen et mise à jour

Composition de l'atmosphère. On considère aujourd'hui qu'au moins 20 gaz traces atmosphériques ont une importance potentielle pour le climat mondial futur. Ces gaz sont essentiellement transparents au rayonnement solaire descendant de courte longueur d'onde, mais absorbent et renvoient la plus grande partie du rayonnement de grande longueur d'onde que réfléchit la terre. Ils produisent donc un effet sur la température de la surface terrestre et sont ainsi souvent appelés gaz à effet de serre. On pense que la concentration de ces gaz change déjà assez rapidement pour influencer le climat mondial actuel; le *tableau 1* fournit, pour six de ces gaz, les concentrations actuelles, les tendances, les projections quant aux niveaux futurs, et les sources.

LE GAZ CARBONIQUE : Bien qu'à l'échelle moléculaire ce ne soit pas le gaz dont l'effet de serre est le plus puissant, le gaz carbonique (CO_2) tient la place la plus importante en raison de sa grande abondance et de son taux d'augmentation. Les preuves paléoclimatologiques dont on dispose pour les 150 000 années écoulées indiquent qu'il existe depuis longtemps un rapport entre la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère et la température moyenne de surface de la terre. Les concentrations les plus basses, soit environ 200 parties par million par volume (ppmv) ou encore 0,02%, se situent lors des périodes de glaciation maximale. Les niveaux les plus élevés, d'environ 275 ppmv, se retrouvent lors des périodes interglaciaires chaudes. Indiquons que le climat terrestre actuel correspond à celui d'une période interglaciaire. Les mesures

effectuées sur les carottes de glace indiquent une concentration de 275 ±5 ppmv du CO_2 avant l'ère industrielle, soit avant 1800. Cette concentration a depuis augmenté de 70 ppmv et l'on mesure à l'heure actuelle 345 ppmv, soit une augmentation équivalente à celle des fluctuations entre les périodes glaciaires et interglaciaires.

La principale source anthropique de CO_2 est l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) pour l'énergie. À l'heure actuelle, on émet chaque année dans l'atmosphère environ 5 giga-tonnes (Gt) de carbone sous forme de gaz carbonique. Toutefois, comme on peut prévoir avec moins de certitude le comportement de la société, les besoins en énergie et le rôle des combustibles

"...depuis 1973, l'augmentation des besoins en énergie a diminué, dans les nations industrialisées, de 4,8% par an à 0,5% par an."

fossiles pour répondre à ces besoins, il s'ensuit une incertitude croissante dans les prévisions des tendances futures des émissions de CO_2. On ne croit plus aussi fermement qu'autrefois que la croissance économique dépend directement de la consommation d'énergie. L'économie continue de croître, mais, depuis 1973, l'augmentation des besoins en énergie a diminué, dans les nations industrialisées, de 4,8% par an à 0,5% par an. Au cours de cette

TABLEAU I

Principaux gaz à effet de serre, concentrations et sources (adaptation à partir de Bolin et al, 1986)

Principaux gaz à effet de serre	Concentrations (parties par milliard)			Sources anthropiques
	actuelles	tendances (%/année)	prévues (2030)	
Dioxyde de carbone (CO_2)	$345x10^3$	0,4	$450x10^3$	Combustion du charbon, du pétrole et du gaz, déboisement
Méthane (CH_4)	$1,55x10^3$	1,1	$2,34x10^3$	Activités biologiques liées à l'accroisse – ment de la population mondiale humaine et bovine
Hémioxyde d'azote (N_2O)	301	0,3	375	Augmentation de l'utilisation des engrais, combustion du charbon, du pétrole et du gaz
Hydrocarbures chlorofluorés				
i) F11	0,17	5,7	1,1	Industrie
ii) F12	0,28	6,0	1,8	Industrie
Ozone troposphérique (03)	variables	~ 1	+ 12,5%	Réaction photochimique d'autres gaz

"...les décisions gouvernementales futures, à l'échelle nationale et internationale, en ce qui concerne les politiques d'énergie et les techniques connexes, constitueront un facteur déterminant des tendances du taux des émissions."

même période, les nations en développement ont aussi diminué la croissance des besoins en énergie mais de façon modeste : de 7,3% à 6,2% par an. Ces changements ont pour causes principales les progrès technologiques et les processus de prise de décision, facteurs dont il est difficile de tenir compte dans les méthodes analytiques. Ainsi a-t-on élargi l'échelle des valeurs prévues quant au taux d'émission possible de CO_2 en 2050 : minimum de 2 Gt de carbone par an pour des scénarios de grande efficacité énergétique et de faible utilisation de combustibles fossiles et maximum de 20 Gt par an (soit un facteur de 10). On n'a pas établi un scénario "le plus probable", toutefois, les décisions gouvernementales futures, à l'échelle nationale et internationale, en ce qui concerne les politiques d'énergie et les techniques connexes, constitueront un facteur déterminant des tendances du taux des émissions.

Une autre incertitude vient s'ajouter aux prévisions des concentrations futures du gaz carbonique dans l'atmosphère; il s'agit du manque de compréhension quant aux processus naturels de transfert des émissions anthropiques de CO_2 à la biosphère et aux océans. Faire le jour sur cette question représente un objectif important des efforts de recherche permanents, particulièrement en ce qui a trait au rôle des océans. Toutefois, cette question n'a sur le taux d'augmentation du CO_2 atmosphérique qu'une importance secondaire par rapport à l'incertitude liée au taux futur des émissions anthropiques de CO_2.

Compte tenu des incertitudes susmentionnées, on pense à présent qu'un doublement de la concentration du CO_2 par rapport au niveau de 275 ppmv, avant l'ère industrielle, pourrait avoir lieu dès l'année 2050 (émissions fortes) ou pourrait être retardé jusqu'à une date avancée du XXII^e siècle (émissions faibles).

LES AUTRES GAZ À EFFET DE SERRE : Ceux qui figurent dans le tableau 1 ont le même effet que le gaz carbonique sur le rayonnement. On peut donc tenir compte de leur effet sur le climat de façon approximative en termes d'effet équivalant à une augmentation supplémentaire du CO_2. D'après les spécialistes de la modélisation du climat, l'influence combinée de ces gaz sur le climat peut très bien se rapprocher dès aujourd'hui de celle du CO_2. À partir des prévisions données au tableau 1, les effets cumulatifs de ces gaz à l'avenir pourraient très bien dépasser l'effet du CO_2, particulièrement si l'on adopte un scénario d'émissions faibles de CO_2. Si l'on ajoute leurs effets à celui du CO_2 et que l'on tienne compte de ces effets en tant que concentration équivalente de CO_2, la date à laquelle l'équivalent du CO_2 aura doublé se rapproche de façon spectaculaire, comme l'illustre la figure 1. Les experts laissent entendre que l'équivalent du doublement en question pourrait alors avoir lieu avant l'année 2030 et plus probablement avant l'année 2050. On en conclut que pour ralentir l'effet de serre cumulé à l'échelle mondiale, on doit prendre des mesures qui s'appliquent non seulement aux émissions de CO_2 mais aussi aux émissions des autres gaz à effet de serre.

LES AÉROSOLS : Nous avons aussi observé et mesuré, notamment dans les régions polaires et industrielles, des changements s'appliquant aux autres composants de l'atmosphère qui influent sur le climat. Ces changements pourraient bien avoir une importance croissante pour le climat, particulièrement à l'échelle locale. Toutefois, les relevés à long terme de la concentration atmosphérique ne nous permettent ni d'établir une climatologie des aérosols, ni de déterminer les structures des changements à long terme ou mondial. Par conséquent, l'influence humaine sur ces changements est encore difficile à établir et

nous ne disposons pas encore de moyens fiables qui nous permettent de prévoir des scénarios futurs plausibles quant à la concentration des aérosols dans l'atmosphère. L'élaboration d'une climatologie mondiale des aérosols ainsi que l'établissement de la surveillance des variations apparaissent donc comme un besoin important. Cependant, les chercheurs conviennent en général que les effets des aérosols sur le climat mondial au cours du prochain siècle seront probablement secondaires par rapport à ceux de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.

Effets sur le climat mondial. Les spécialistes de la modélisation du climat font preuve de prudence dans leurs prévisions du climat futur, mais ils conviennent en général que l'augmentation de la concentration des gaz

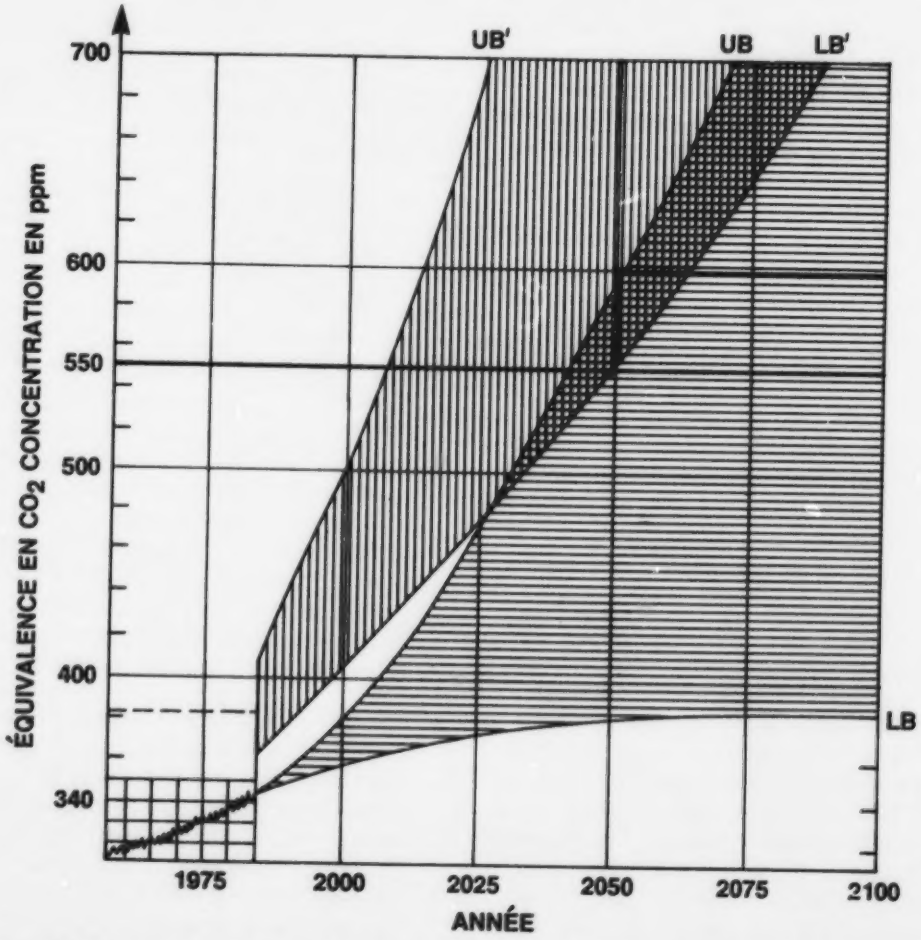

Figure 1. Prévisions de la concentration future des gaz atmosphériques à effet de serre. Les courbes UB et LB indiquent les échelles des valeurs estimatives pour les concentrations futures de CO_2 seulement, tandis que les courbes UB' et LB' représentent les échelles des valeurs estimatives pour les équivalents en concentration de CO_2 si l'on inclut les autres gaz traces. La valeur de 550 ppm représente un doublement par rapport aux concentrations du CO_2 avant l'ère industrielle (Bolin et autres, 1986).

atmosphériques à effet de serre au cours du prochain siècle entraînera un grand réchauffement du climat mondial en surface, peut-être sans précédent dans les annales de l'humanité. D'autres causes de changement climatique, comme les variations de l'énergie solaire qui atteint la terre ou des modifications de l'albédo de la surface terrestre continueront à moduler, sans toutefois la modifier de façon marquée, cette tendance à long terme. En outre, lesdits spécialistes conviennent qu'un tel réchauffement mondial serait le plus important dans les régions polaires en automne et en hiver, que le ruissellement annuel moyen des eaux aux hautes latitudes risquerait d'augmenter de façon marquée et que les cas de sécheresse estivale aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord seraient plus fréquents. On est toutefois beaucoup moins d'accord sur l'ampleur de ces changements ou sur leurs caractéristiques régionales, particulièrement en ce qui a trait aux précipitations. Les estimations du réchauffement mondial dues à l'équivalent d'un doublement du CO_2 varient entre 1,5 C et 4,5°C ou même plus. Les modèles utilisés pour les simulations du climat ont encore une résolution spatiale assez grossière, ils sont limités par la puissance de calcul et sont soumis aux limites causées par l'insuffisance de la paramétrisation de réactions et de processus importants comme la formation des nuages, l'interaction air-mer, l'hydrologie de surface et la dynamique des océans. En outre, dans la plupart des simulations sur modèle, le système climatique atteint l'équilibre radiatif, ce qui ne permet pas à la simulation de reproduire l'effet réel de retard causé par des facteurs comme l'inertie thermique des océans sur la réaction du système climatique aux forces de changement. Par conséquent, les spécialistes de la modélisation mettent les analystes en garde contre les résultats des modèles actuels qui ne doivent servir que de guide pour l'élaboration d'outils d'analyse dans la recherche des incidences et aussi pour vérifier la sensibilité biosphérique et humaine aux changements climatiques, mais non pas pour établir des conclusions définitives sur les incidences des changements.

"Ces modèles font entrevoir en outre que la température a déjà augmenté de 0,3 à 1,1°C en raison de l'augmentation des gaz à effet de serre, et ce, entre 1900 et 1980."

On a utilisé récemment plusieurs modèles unidimensionnels du climat pour simuler la réaction transitoire du système climatique à un changement. Les résultats expérimentaux obtenus à l'aide des modèles climatiques à équilibre radiatif donnent un réchauffement à la surface de 1,5 à 4,5°C pour l'équivalent d'un doublement du CO_2, mais les modèles de réaction transitoire indiquent qu'environ 50% seulement de l'effet potentiel total se fera sentir au moment du doublement. Par conséquent, le réchauffement climatique réel en l'an 2030 se situerait probablement entre 0,8 et 2,3°C et les effets du doublement ne se feraient entièrement sentir que plusieurs décennies après. Ces modèles font entrevoir en outre que la température a déjà augmenté de 0,3 à 1,1°C en raison de l'augmentation des gaz à effet de serre, et ce, entre 1900 et 1980.

Nous devons en priorité déterminer sans équivoque de tels effets. De nombreuses études des relevés historiques du climat ont tenté de montrer la "trace du CO_2". Les résultats indiquent que la tendance des 100 dernières années à un réchauffement de 0,3 à 0,7°C correspond à la limite inférieure de l'échelle des prévisions susmentionnées en ce qui concerne l'effet des gaz à effet de serre jusqu'à présent. Toutefois, une telle augmentation de la température se situe également dans les limites de la variabilité naturelle sur une telle échelle temporelle. En outre, nous n'avons pas encore fourni d'explication adéquate aux anomalies d'échelle décennale comme le réchauffement rapide qui a eu lieu entre 1900 et 1940 et le refroidissement qui s'est produit entre 1940 et 1960.

Effets de l'augmentation du CO_2 et le réchauffement climatique. Compte tenu des limites susmentionnées des prévisions du climat, des lacunes actuelles quant à la

connaissance de l'interaction entre le climat, l'environnement et la société et de l'incertitude relative aux progrès techniques à venir, les analystes des incidences ne peuvent pas encore prévoir les conséquences réelles d'un changement du climat mondial. Toutefois, il est possible de créer les outils d'analyse qu'exige l'établissement de telles prévisions au fur et à mesure que nos connaissances s'améliorent, et c'est ce que nous faisons à l'heure actuelle. Ces outils ne doivent pas seulement traiter les incidences directes, comme les décrivent par exemple les modèles de récolte en fonction du climat, mais doivent aussi tenir compte des effets des progrès techniques, des décisions humaines en réaction au changement et, enfin, des interactions commerciales et politiques à l'échelle internationale. La création de ces outils doit se fonder sur la compréhension des facteurs environnementaux et des activités humaines qui sont sensibles à la variabilité climatique et de l'ampleur de cette sensibilité. Elle exige aussi une interaction entre les scientifiques et les dirigeants.

Les études qui s'orientent vers les objectifs susmentionnés ont déja fourni d'importants indices sur quelques-unes des incidences principales d'une augmentation du CO_2 et d'un changement climatique. Ces études ont utilisé les analyses des anomalies climatiques passées et de leurs effets ainsi que les études de cas hypothétiques à l'aide de scénarios climatiques de doublement du CO_2 dérivés des grands modèles de circulation générale a équilibre radiatif. Voici quelques-unes des conclusions que l'on a tirées de ces études:

AGRICULTURE MONDIALE

- Le CO_2 est un élément nutritif pour les plantes. Les expériences en laboratoire montrent clairement qu'une augmentation de la concentration du CO_2 active la croissance des plantes en milieu conditionné. L'effet dépend principalement du type de plante et des autres caractéristiques de croissance. Un doublement du CO_2 dans un milieu conditionné peut augmenter la récolte des plantes C_3 (la plupart des plantes) d'environ 10 a 50% et des cultures C_4 (maïs, sorgho, millet et canne à sucre) jusqu'à 10%. Nous n'avons pas montré clairement que les mêmes réactions se retrouveraient dans les cultures en plein champ et dans des milieux naturels compétitifs ou l'effet risque d'être beaucoup moins marqué. On pense qu'une augmentation du CO_2 pourrait grandement modifier la répartition végétale actuelle dans les écosystèmes naturels.

"L'augmentation du CO_2 semble également améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes et, par conséquent, le potentiel de croissance dans des conditions de stress hydrique."

- L'augmentation du CO_2 semble également améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes et, par conséquent, le potentiel de croissance dans des conditions de stress hydrique.
- Un climat mondial plus chaud modifiera de facon marquée la configuration des cultures, particulièrement dans les régions agricoles marginales. Des études sur le potentiel de croissance du blé en Amérique du Nord, selon des scénarios climatiques de doublement du CO_2, indiquent pour le Canada une augmentation marquée de l'étendue de la production de blé d'hiver mais une réduction des récoltes de blé de printemps, tandis que pour les régions du sud des États-Unis, on devra utiliser des variétés de blé de printemps en raison des hivers plus chauds. Au Mexique, toute la production de blé deviendrait fortement vulnérable en raison des températures élevées. Une étude de production de blé de printemps en U.R.S.S., menée a partir d'un scénario de climat plus chaud et plus sec, indique une diminution nette des récoltes, plus marquée en allant de l'ouest vers l'est, et ce, dans les régions de steppe et de forêts-steppe. D'autres études montrent aussi que les récoltes dans les principales régions agricoles des latitudes moyennes en Europe

pourraient diminuer de 3 à 17%, selon certains scénarios du doublement du CO_2, et ce, en raison d'une augmentation de l'évapotranspiration et d'une croissance accélérée des plantes. Les précipitations influent également sur ces effets de façon positive ou négative selon qu'elles augmentent ou qu'elles diminuent. En général, on rapproche les zones agricoles marginales des pôles d'une distance pouvant atteindre 100 km pour chaque réchauffement de 1°C. Les études susmentionnées ne traitent pas les effets directs d'une augmentation du CO_2 ayant lieu en même temps qu'un réchauffement du climat.

"...on rapproche les zones agricoles marginales des pôles d'une distance pouvant atteindre 100 km pour chaque réchauffement de 1°C."

- Les zones marginales de paturage et des forêts subiront de grandes modifications analogues à celles susmentionnées en réaction au changement climatique. Notons toutefois que dans le cas des forêts qui ne sont pas gérées, le processus sera bien plus lent.
- Les pays en développement des régions tropicales et subtropicales éprouvent déja des difficultés à réagir à la variabilité annuelle du climat, en particulier en ce qui concerne les précipitations. Les pressions démographiques poussent progressivement les habitants les plus pauvres vers les terres marginales quant au climat. On observe en conséquence une vulnérabilité et une inaptitude plus marquées à réagir aux effets des variations croissantes du climat. Les changements potentiels à long terme du climat mondial auront sans aucun doute des résultats énormes et catastrophiques dans ces régions. Pourtant, en raison du manque de données, des lacunes de la recherche sur les interactions entre les cultures et le climat dans ces régions et du traitement impérieux des problèmes actuels de survie, on ne compte que très peu d'études sur les effets des changements climatiques dans les régions tropicales et subtropicales.
- Dans les pays en développement, l'effet des progrès techniques, des décisions politiques et des facteurs économiques ont une grande influence sur la production agricole et surpasseront probablement ceux des tendances progressives du changement climatique. Toutefois, il est beaucoup plus difficile de réagir aux perturbations économiques et sociales que créent des phénomènes extrêmes comme les grandes sécheresses et l'on peut assister à des surréactions au sein du système socio-économique, souvent à l'échelle mondiale, dans les marchés et le commerce internationaux. Cela est vrai, que les phénomènes soient extrêmement favorables ou extrêmement défavorables. Les changements de fréquence de ces anomalies, qui sans aucun doute seront associés à un changement climatique graduel, menaceront donc surtout le secteur agricole des pays en développement.

"Les constructions actuelles de plusieurs installations quant à l'utilisation des ressources en eau...ont une durée prévue qui aboutit ou milieu du 21e siècle, c'est-à-dire bien avant dans la période des principaux changements climatiques."

RESSOURCES EN EAU

- L'evapotranspiration (qui change en fonction de la température et de l'humidité atmosphériques) affecte, tout comme les précipitations, la quantité d'eau disponible. Selon certains analystes, les prévisions établies jusqu'à présent quant aux effets d'un changement climatique sur les ressources en eau sont de fortes sous-estimations.
- Les constructions actuelles de plusieurs installations quant à l'utilisation des ressources en eau (comme les barrages, les

réservoirs et canaux) ont une durée prévue qui aboutit ou milieu du 21e siècle, c'est-à-dire bien avant dans la période des principaux changements climatiques.
- Les effets directs du CO_2 sur l'efficacité de l'utilisation en eau par les plantes, que l'on a observés dans des conditions bien définies, montrent une disponibilité accrue des précipitations pour le ruissellement. Toutefois, l'augmentation de la productivité des plantes ou d'autres facteurs météorologiques (comme le vent ou l'humidité) peuvent neutraliser ce gain dans l'écosystème naturel.

"On prévoit que d'ici à l'an 2050 on assistera à une montée importante du niveau moyen des océans, soit de 20 à 140 cm..."

NIVEAU DES OCÉANS
- On prévoit que d'ici à l'an 2050 on assistera à une montée importante du niveau moyen des océans, soit de 20 à 140 cm, causée par leur expansion thermique et la fonte des glaciers de la zone tempérée.
- Si l'on tient compte des montées régionales du niveau des océans causées par la subsidence tectonique, la montée des océans présage de graves problèmes pour certaines régions maritimes du monde.
- Il est peu probable que l'on assiste, lors du prochain siècle, à une forte montée du niveau des océans, de 5 à 7 m, due à la désagrégation de la calotte polaire.

Perspectives canadiennes

Les études canadiennes sur l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et le changement climatique connexe ont mis l'accent sur :
- la surveillance des concentrations du CO_2 atmosphérique;
- la mesure et la modélisation du transfert du carbone et du gaz carbonique au sein du naturel cycle du carbone naturel;

"Les mesures de la concentration du CO_2 atmosphérique à Alert (Territoires du Nord-Ouest) et à Sable Island (Nouvelle-Ecosse) indiquent...une augmentation moyenne annuelle de 1,5 ppmv, soit 0,4%."

- la nature et les répercussions d'un grand réchauffement climatique dans diverses régions géographiques du Canada.

Ces activités sont détaillées à l'annexe III. Voici les points essentiels des résultats de recherche auxquels ont abouti ces études.

Cycle du CO_2 et du carbone
- Les mesures de la concentration du CO_2 atmosphérique à Alert (Territoires du Nord-Ouest) et à Sable Island (Nouvelle-Ecosse) indiquent des valeurs moyennes annuelles en 1984 de 346,2 ppmv et une augmentation moyenne annuelle de 1,5 ppmv, soit 0,4%. Ces résultats concordent avec les configurations mondiales établies par les stations d'autres pays.
- L'analyse des trajectoires des masses d'air tend à prouver que les masses d'air associées à de fortes anomalies de concentration du CO_2, selon les mesures hebdomadaires à Alert, proviennent de régions sources de l'Europe et de l'U.R.S.S. Les eaux arctiques recouvertes de glace ne semblent pas représenter une source notable de CO_2 en hiver.
- Les résultats préliminaires de l'analyse des données recueillies dans les collecteurs de sédimentation du nord du Pacifique indiquent que jusqu'à 5 à 10% de la productivité biologique première de surface dans ces eaux peut tomber dans le fond de l'océan sous forme de détritus. Comme les eaux subarctiques sont biologiquement très productives en été, elles pourraient constituer un grand puits du surplus de CO_2 atmosphérique, ce dont on ne tient pas suffisamment compte dans les modèles actuels du bilan mondial du carbone.

Scénarios régionaux du réchauffement climatique. Les scénarios climatiques d'un réchauffement, même ceux établis par les modèles numériques du climat les plus perfectionnés, évoluent à l'échelle mondiale, ont une résolution grossière, présentent un grand nombre d'incertitudes et, par conséquent, ne conviennent pas encore à l'étude définitive des incidences régionales du changement climatique. Il existe une méthode de remplacement des scénarios établis par les modeles numériques. Il s'agit de la reconstruction de scénarios de climat chaud à partir des relevés climatiques historiques et de l'étude des incidences réelles à l'échelle régionale au cours de tels phénomènes. Bien que leur applicabilité à un réchauffement climatique dû à un doublement du CO_2 soit très restreinte, de tels scénarios peuvent contribuer de facon substantielle à notre compréhension des incidences d'un changement climatique.

Une étude récente, utilisant diverses combinaisons de périodes chaudes et froides établies à partir des données climatiques relevées dans l'hémisphère nord au cours des 80 dernières années, pour évaluer les effets régionaux de transitions hémisphériques froides et chaudes (de l'ordre de 0,2 à 0,5 C), a montré que plusieurs caractéristiques réapparaissent. Il s'agit notamment des éléments suivants :

- le réchauffement est toujours plus marqué dans les régions de l'Arctique, particulièrement en hiver et au printemps, et est accompagné d'un plus grand nombre de tempêtes et de plus fortes précipitations;
- une région de refroidissement au large de la côte est du Canada, en hiver et au printemps;
- une diminution des précipitations estivales et une plus forte variabilité des précipitations au printemps, en été et en automne, dans l'intérieur des régions du sud du Canada et, par conséquent, une augmentation marquée des risques de sécheresses graves;
- une augmentation globale des précipitations en hiver et une diminution des précipitations en automne dans tout le Canada.

Une étude indépendante sur les corrélations entre les tendances annuelles et saisonnières des températures relevées aux diverses stations arctiques par rapport à celles relevées ailleurs dans l'hémisphère nord indique aussi l'amplification moyenne d'un réchauffement de l'hémisphère de 1°C en un réchauffement arctique de 2,8°C, mais la marge de confiance est de ±1,8°C.

On ne peut pas extrapoler les résultats susmentionnés pour en faire des scénarios analogues à ceux du changement climatique dû à un doublement du CO_2. Les scénarios établis illustrent toutefois la complexité régionale d'un changement mondial, étayent la probabilité d'un réchauffement arctique amplifié et d'une augmentation des précipitations dans l'Arctique et servent d'analogie quant aux effets possibles d'un réchauffement futur plus modeste.

"...stress hydrique accru pourrait entraîner une diminution nette des récoltes pour la plupart des grandes cultures actuelles dans le sud de l'Ontario...de plus de 100 millions de dollars par an."

Effets de l'augmentation du CO_2 et le réchauffement climatique. Des études récentes sur la sensibilité et la réaction possible de l'environnement canadien (et par conséquent des activités socio-économiques) à l'augmentation du CO_2 atmosphérique et aux scénarios de réchauffement climatique connexes possibles révèlent ce qui suit :

1) Selon les scénarios climatiques du doublement du CO_2, les saisons de croissance agricole dans l'Ontario pourraient s'allonger d'une période pouvant atteindre 48 jours dans le nord et 61 jours dans le sud. Il serait possible de cultiver dans le nord de l'Ontario, là ou le sol y convient, du maïs-grain, du blé et du soja tandis que le stress hydrique accru pourrait entraîner une diminution nette des récoltes

pour la plupart des grandes cultures actuelles dans le sud de l'Ontario et des pertes économiques potentielles de plus de 100 millions de dollars par an.

2) Des scénarios climatiques semblables pour le Manitoba indiquent une augmentation potentielle des récoltes allant jusqu'à 15%. Cette augmentation pourrait se transformer en une diminution nette allant jusqu'à 10% si l'augmentation prévue des précipitations n'a pas lieu. Sous des conditions estivales plus chaudes, les cultures mûriraient plus rapidement (une ou deux semaines plus tôt). Les avantages qu'apporterait la possibilité de semer plus tôt en raison du réchauffement du printemps seraient en grande partie neutralisés par l'insuffisance de lumière à ce moment de l'année.

"...l'effet direct de l'augmentation de la concentration du CO_2 sur la croissance des plantes...indique qu'en cas de doublement du CO_2, l'augmentation de la productivité des grandes cultures vivrières en plein champ...pourrait atteindre jusqu'à 15%."

3) L'examen d'environ 70 études sur l'effet direct de l'augmentation de la concentration du CO_2 sur la croissance des plantes en milieu conditionné indique qu'en cas de doublement du CO_2, l'augmentation de la productivité des grandes cultures vivrières en plein champ, comme le blé et le maïs, pourrait atteindre jusqu'à 15%. De tels effets n'ont pas été inclus dans les études susmentionnées des récoltes en fonction du changement climatique.
4) Dans les Grands Lacs, les glaces pourraient disparaître si le réchauffement hivernal atteint 6°C. La saison de navigation s'étendrait à toute l'année et l'on pourrait alors assister à une augmentation potentielle en volume de 15 à 30%.
5) Une diminution possible de 20% de l'approvisionnement en eau des Grands Lacs pourrait faire baisser le niveau des lacs de 20 cm. Une telle réduction ajoutée à l'effet possible d'une consommation accrue de l'eau dans le bassin des Grands Lacs pourrait résulter en une perte de 6% de la capacité de navigation par saison (soit une perte de revenus de 12 millions de dollars).
6) La consommation en eau par habitant dans les villes, dans un climat plus chaud dû à un doublement du CO_2, n'augmenterait pas de façon marquée (3% au maximum).
7) Les grands marais écologiques comme celui de Point Pelee s'assècheraient.

"La saison de conditions propices au ski alpin peut disparaître dans la région du lac Huron et de la baie Géorgienne..."

8) Les chutes de neige moyennes en hiver pourraient diminuer dans tout l'Ontario, de 20 à 60 cm dans le sud de l'Ontario mais, dans la région de la ceinture de neige, la diminution pourrait atteindre 100 à 200 cm. La saison de conditions propices au ski alpin peut disparaître dans la région du lac Huron et de la baie Géorgienne et raccourcir de 35 à 40% dans la région de Lakehead, ce qui représente une perte potentielle économique locale et industrielle pouvant atteindre plus de 50 millions de dollars par an. De telles pertes seraient en partie compensées par une saison de loisirs estivaux plus longue.
9) Selon les scénarios typiques du doublement du CO_2, le réchauffement en hiver pourrait diminuer les besoins en chauffage résidentiel en Ontario de 30 à 45%, mais augmenterait les besoins en climatisation de 6 à 7%.

Sensibilisation du public

Lors de la récente réunion internationale d'experts à Villach, en Autriche (*voir appendice I*), les participants ont conclu que le changement climatique est d'importance considérable dans un grand nombre de grandes décisions sociales, économiques et politiques prises aujourd'hui. Ils ont par conséquent :

i) fortement recommandé qu'on sensibilise davantage le public à la question;
ii) conseillé aux dirigeants internationaux et nationaux de tenir compte des résultats de la réunion dans leurs décisions;
iii) encouragé les chercheurs et les dirigeants à collaborer à l'élaboration de stratégies visant à la prise de mesures d'atténuation et d'adaptation qui pourraient s'imposer.

Toutefois, il est très difficile de communiquer une compréhension meilleure de la question du CO_2 et du climat car les chercheurs et les dirigeants abordent en général les questions environnementales sous un angle tout à fait différent. Tandis que les chercheurs étudient chaque question environnementale, comme les pluies acides, la diminution de l'ozone, la brume arctique et le changement climatique, dans un isolement relatif par rapport aux autres chercheurs et dans une certaine mesure par rapport aux facteurs sociaux, économiques et politiques, les dirigeants ont besoin de renseignements sur les vastes incidences environnementales

"...pour réussir à sensibiliser les non-scientifiques à une question comme le changement de climat, la première étape consiste à placer la question dans le contexte des vastes intérêts environnementaux mondiaux et à illustrer ses rapports avec les activités humaines particulières ..."

de leurs décisions sociales, économiques et politiques. En conséquence, pour réussir à sensibiliser les non-scientifiques à une question comme le changement de climat, la première étape consiste à placer la question dans le contexte des vastes intérêts environnementaux mondiaux et à illustrer ses rapports avec les activités humaines particulières (voir la figure 2). Dans ce contexte, les rapports entre les grandes questions environnementales deviennent importants. Si, par exemple, pour préserver la couche d'ozone protectrice on

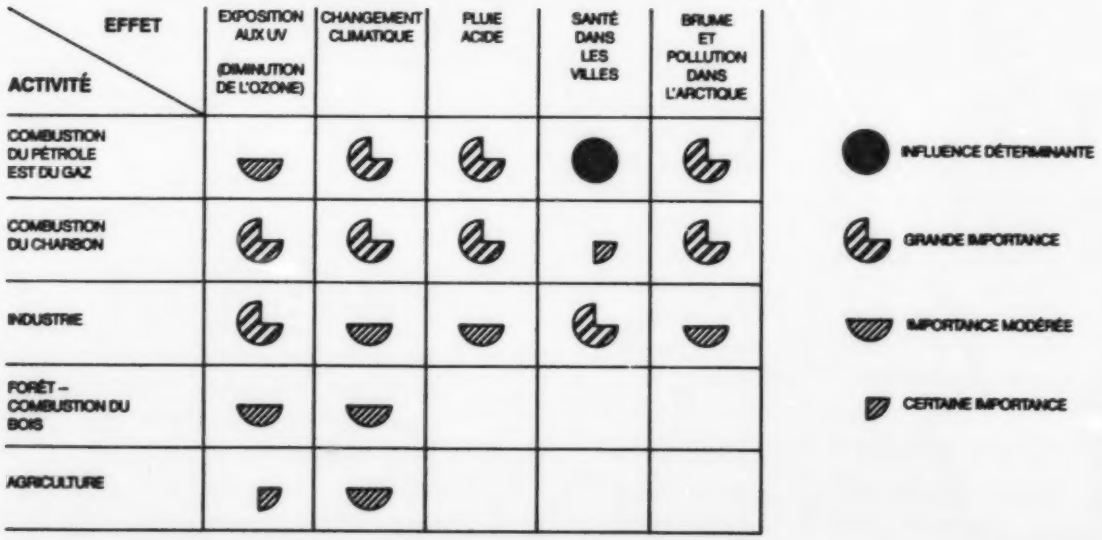

Figure II. Interaction entre l'homme et l'environnement illustrant les origines communes des effets environnementaux et les multiples incidences des activités humaines sur l'environnement. Adaptation à partir de Clark, 1985.

réduit les émissions d'hydrocarbures chlorofluorés, on retarde aussi le réchauffement potentiel par effet de serre puisque ces derniers gaz anthropiques sont en outre des gaz à effet de serre puissants. De même, en diminuant l'emploi du charbon comme source d'énergie, en vue de réduire les émissions de CO_2, on réduirait les émissions de SO_2 et, par conséquent, les pluies acides, on diminuerait la fréquence des conditions de brume arctique et on améliorerait la santé dans les villes. Les participants à la conférence de Villach ont présenté le rapport entre les questions environnementales comme une conclusion de première importance dans l'élaboration de stratégies de réaction.

Pour sensibiliser à la question du CO_2 et du climat les chercheurs, les dirigeants et le public en général, nous concentrons notre effort sur la publication d'un bulletin d'information intitulé "*Le CO_2 et le climat*" et, depuis 1984, d'un rapport annuel intitulé "*Comprendre le CO_2 et le climat*". La liste de diffusion de ces publications comprend environ 800 adresses. Nous avons en outre présenté sur demande des colloques sur le sujet à des publics très divers, notamment des étudiants du secondaire ou des universités, des hauts fonctionnaires, des chercheurs et des personnes âgées. Au cours de l'année dernière, on a assisté à une augmentation des demandes de renseignements supplémentaires provenant d'étudiants d'universités, pour leurs projets. Quant aux nouvelles pour le public et aux médias d'information, le sujet a suscité moins d'intérêt, mais l'on a cependant noté un changement quant à la forme, les articles d'information étant remplacés par des reportages plus détaillés sur de grandes questions environnementales.

Conclusions

Notre compréhension scientifique étant insuffisante, nous ne pouvons pas encore évaluer précisément les incidences de l'augmentation de la concentration des gaz atmosphériques à effet de serre. Nous sommes même très incertains quant au taux futur d'augmentation de l'un des plus importants de ces gaz, le gaz carbonique. En conséquence, la formulation de stratégies appropriées et concrètes en vue de la prévention ou de l'adaptation demeure problématique. Toutefois, nous pouvons tirer plusieurs conclusions fondamentales, peut-être inquiétantes :

"Les dirigeants doivent dès à présent tenir compte de l'influence du changement climatique futur dans les décisions qu'ils prennent sur les activités sociales et économiques à long terme."

1) Nous sommes à l'heure actuelle témoins d'un grand changement climatique mondial;
2) Ce changement aura des effets importants et probablement dominants sur les activités sociales, économiques et politiques de nos sociétés futures, nationales et mondiales;
3) Nos politiques actuelles d'énergie ***détermineront*** l'ampleur et la rapidité du changement du climat;
4) Nos politiques sur les émissions d'autres gaz industriels à effet de serre auront une importance tout aussi grande;
5) Ces politiques seront aussi d'importance majeure pour d'autres grands problèmes mondiaux de l'environnement, comme les pluies acides, la diminution de l'ozone et la brume arctique;
6) Les dirigeants doivent dès à présent tenir compte de l'influence du changement climatique futur dans les décisions qu'ils prennent sur les activités sociales et économiques à long terme;
7) Les scientifiques et les dirigeants doivent à présent coopérer à l'élaboration de stratégies de réaction pouvant être mises en application immédiatement s'il nous fallait réagir de façon impérative.

Ces conclusions exigent l'établissement d'un agressif programme permanent à l'échelle nationale et internationale, en vue de l'amélioration de la compréhension scientifique de la question *et* de ses interactions avec les autres grands problèmes environnementaux.

Elles montrent le besoin d'accroître l'interaction et la coopération parmi les dirigeants, les économistes, les physiciens et les sociologues. Et, à ce titre, la sensibilisation à la question constitue une condition préalable. Ces conclusions exigent par-dessus tout que la communauté internationale, particulièrement les nations industrialisées, s'intéresse à la cause première de cette question et de nombreuses autres grandes questions environnementales suscitées par l'aptitude et la tendance accrues de l'homme à mener ses expériences sur l'atmosphère sans aucun contrôle ni aucune planification. La preuve en est indéniable.

APPENDICE I

DÉCLARATION DE LA CONFÉRENCE

Évaluation internationale du rôle du gaz carbonique et des autres gaz à effet de serre dans les variations climatiques et des incidences de ces variations
Conférence conjointe PNUE-OMM-CIUS
VILLACH, AUTRICHE, 9-15 OCTOBRE 1985

Une Conférence conjointe PNUE/OMM/CIUS, réunissant des spécialistes de 29 pays développés et en développement, a eu lieu à Villach (Autriche), du 9 au 15 octobre 1985, pour évaluer le rôle que joue l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique et en autres constituants radiativement actifs (connus collectivement sous le nom de gaz à effet de serre et d'aérosols) sur les modifications du climat et les incidences correspondantes. Les gaz à effet de serre autres que le gaz carbonique renforcent et accélèrent les effets causés par celui-ci. À l'heure actuelle, on considère que l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre entraînera, au cours de la première moitié du siècle prochain, une augmentation de la température moyenne dans le monde supérieure à tout ce que l'on a connu jusqu'alors dans l'histoire de l'humanité.

La conférence a adopté les conclusions et les recommandations suivantes :

1) À l'heure actuelle, on se fonde sur l'hypothèse selon laquelle les données sur le climat passé constituent, telles quelles, un guide fiable pour l'avenir, pour prendre un grand nombre de décisions importantes sur le plan économique et social en ce qui concerne les projets à long terme (grandes activités de gestion des ressources en eau telles que les projets d'irrigation et de production d'énergie électrique; secours en cas de sécheresse; utilisation des terres agricoles; projets de construction d'ouvrages et de génie côtier; planification des ressources en énergie). Cette hypothèse n'est plus valable étant donné que les concentrations plus élevées des gaz à effet de serre devraient provoquer un réchauffement important du climat du globe au cours du siècle prochain. Il est urgent de parvenir à estimer les conditions climatiques futures avec plus de précision en vue d'améliorer ces décisions.
2) Les modifications du climat et le relèvement du niveau de la mer dus aux gaz à effet de serre sont étroitement liés à d'autres grands problèmes relatifs à l'environnement, tels que les dépôts acides et les menaces auxquelles est exposée la couche protectrice d'ozone qui entoure la Terre, qui sont essentiellement provoqués par les modifications anthropiques de la composition de l'atmosphère. En modérant l'utilisation du charbon et du pétrole et en prenant des mesures de conservation de l'énergie en vue de réduire les dépôts acides, il sera également possible de limiter les émissions de gaz à effet de serre; la diminution du dégagement de chlorofluorocarbones contribuera pour sa part à protéger la couche d'ozone et ralentira également le rythme des changements climatiques.
3) Si un certain réchauffement du climat semble maintenant inévitable à la suite d'actions passées, la vitesse et le degré du réchauffement futur pourraient être profondément modifiés par les politiques gouvernementales en matière de conservation d'énergie et d'utilisation des combustibles fossiles ainsi que par l'émission de certains gaz à effet de serre.

Ces conclusions s'appuient sur les connaissances scientifiques fondamentales actuelles généralement acceptées indiquées ci-après :

- La quantité de certains gaz présents à l'état de trace dans la troposphère, notamment le gaz carbonique (CO_2), l'oxide d'azote (N_2O), le méthane (CH_4), l'ozone (O_3) et les chlorofluorocarbones est en augmentation. Ces gaz, par nature, laissent passer le rayonnement solaire incident de courte longueur d'onde mais absorbent et émettent le rayonnement de grande longueur d'onde et peuvent donc ainsi influencer le climat de la Terre.
- Le rôle des gaz à effet de serre autres que le gaz carbonique dans les changements du climat est déjà presque aussi important que celui du CO_2 . Si la tendance actuelle se maintient, les concentrations combinées du gaz carbonique et des autres gaz à effet de serre contenus dans l'atmosphère équivaudraient, dès les années 2030, sur le plan radiatif, à un doublement du CO_2 par rapport au niveau de l'époque préindustrielle.
- Pour une augmentation de concentration dans l'atmosphère égale ou équivalente à un doublement du CO_2, les expériences les plus sophistiquées sur le système climatique réalisées à l'aide de modèles de la circulation générale font apparaître des augmentations de la moyenne mondiale de la température d'équilibre en surface comprises entre 1,5 et 4,5°C. Étant donné la complexité du système climatique et les imperfections des modèles, notamment en ce qui concerne les interactions océan-atmosphère et les nuages, des valeurs qui se situeraient au-delà de ces limites ne sauraient être exclues. L'apparition de ces modifications sera ralentie par l'inertie des océans; on considère que pour atteindre les températures moyennes d'équilibre correspondant à un doublement des concentrations des gaz à effet de serre, le délai serait de l'ordre de plusieurs décennies.
- Bien que d'autres facteurs tels que les concentrations des aérosols, les modifications de l'apport en énergie solaire et les changements de la végétation puissent également avoir une influence sur le climat, il est probable que les gaz à effet de serre seront la principale cause de changement du climat au cours du siècle à venir.
- Il n'a pas encore été possible de procéder à une modélisation fiable des modifications du climat à l'échelle régionale. Toutefois, les différences entre les valeurs pour les régions et les moyennes mondiales montrent que le réchauffement pourrait être plus important aux latitudes élevées que dans les régions tropicales vers la fin de l'automne et durant l'hiver, que le ruissellement annuel moyen pourrait augmenter aux latitudes élevées et les sécheresses estivales devenir plus fréquentes sur les continents situés aux latitutdes moyennes dans l'hémisphère Nord. Dans les régions tropicales, les augmentations de température devraient être inférieures à l'augmentation moyenne mondiale, mais leurs répercussions sur les écosystèmes et sur l'homme pourraient être lourdes de conséquence. L'évapotranspiration potentielle risque de s'intensifier dans l'ensemble de la zone tropicale, les précipitations d'origine convective augmentant dans les régions tropicales humides.
- On estime, sur la base des modifications observées depuis le début du siècle, qu'un réchauffement global de l'ordre de 1,5° à 4,5°C provoquerait un relèvement de 20 à 140 centimètres du niveau de la mer. Un relèvement correspondant aux valeurs supérieurs de cette fourchette aurait des effets majeurs directs sur les zones côtières et les estuaires. S'il est possible qu'à une date future se produise une fonte importante de la calotte glacière de l'Antarctique Ouest qui entraînerait un relèvement bien plus important du niveau de la mer, tel ne devrait pas être le cas au cours du siècle à venir.
- Si l'on se fonde sur les analyses des données d'observation, l'augmentation de la température moyenne mondiale au cours des cent dernières années, située d'après les estimations entre 0,3 et 0,7°C, paraît concorder avec l'augmentation de température prévue en fonction de l'accroissement observé du CO_2 et d'autres gaz à effet de serre même si, d'un point de vue strictement scientifique, ladite

augmentation ne peut pas être attribuée uniquement à ces facteurs.

- Compte tenu des effets que semblent avoir eu les changements climatiques passés, il n'est guère douteux qu'une modification du climat dans l'avenir, de l'ordre de grandeur indiqué par les modèles du climat pour un doublement de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère, pourrait avoir des effets profonds sur les écosystèmes, l'agriculture, les ressources en eau et les glaces de mer dans le monde.

Mesures Recommandées

1) Les gouvernements et les organisations intergouvernementales régionales devraient tenir compte des résultats de cette évaluation (Villach 1985) dans leurs politiques de développement social et économique, leurs programmes relatifs à l'environnement et la surveillance des émissions de gaz radiativement actifs.
2) Les institutions internationales et les gouvernements devraient augmenter leurs efforts pour mieux informer le public sur les problèmes relatifs aux gaz à effet de serre; aux changements du climat et du niveau de la mer, y compris en diffusant largement les documents de la présente conférence (Villach 1985).
3) Des incertitudes majeures demeurent en ce qui concerne la prévision des changements dans la distribution des précipitations et de la température à l'échelle mondiale et régionale. De même, les réactions des écosystèmes ne sont connues que de manière imparfaite. Néanmoins, on appréhence dorénavant suffisamment bien le problème des gaz à effet de serre pour que les spécialistes et les décideurs commencent à collaborer activement pour étudier l'efficacité des politiques de rechange et des mesures d'adaptation. Il faudrait s'efforcer de mettre au point les méthodes nécessaires à une telle collaboration.

i) Les gouvernements et les organismes de financement devraient augmenter leur soutien à la recherche et concentrer leurs efforts sur les problèmes cruciaux encore non résolus concernant les gaz à effet de serre et les changements climatiques. La priorité devrait être accordée aux initiatives prises au titre de programmes scientifiques nationaux et internationaux tels que : a) le Programme mondial de recherche sur le climat (OMM/CIUS), b) les projets actuels et envisagés d'étude des cycles bio-géochimiques et de la chimie de la troposphère, dans le cadre du Programme d'étude des changements globaux proposé par le CIUS, c) les programmes nationaux de recherche sur le climat. Il conviendrait de se pencher avec une attention particulière sur l'amélioration de la modélisation des océans, des interactions nuages-rayonnement, et des processus relatifs aux terres émergées.

ii) Les gouvernements et les organismes de financement devraient augmenter leur soutien pour l'analyse des options politiques et économiques. Il conviendrait à cet égard d'identifier, d'analyser et d'évaluer la gamme la plus large possible de réactions sociales destinées à prévenir les changements climatiques ou à s'y adapter. Ces évaluations devraient être entreprises immédiatement et faire appel à diverses méthodes disponibles. Certaines des analyses pourraient être réalisées dans un contexte régional afin d'établir un lien entre les connaissances scientifiques actuelles et la prise de décisions dans le domaine économique et de déterminer la vulnérabilité des régions et leurs possibilités d'adaptation aux changements climatiques. Parmi les

régions dont on pourrait envisager l'étude figurent le bassin de l'Amazone, le sous-continent Indien, l'Europe, l'Arctique, le bassin du Zambèze et les Grands Lacs d'Amérique du Nord.

4) Les gouvernments et les institutions de financement devraient énergiquement soutenir les activités suivantes :
   i) la surveillance à long terme et l'interprétation, au moyen des meilleurs modèles disponibles;
      a) des constituants de l'atmosphère importants du point de vue radiatifs, y compris les aérosols (sans compter le $CO)_2$;
      b) de l'éclairement énergétique du soleil;
   i) c) du niveau de la mer.
   ii) l'étude et l'interprétation de l'histoire du climat et de l'environnement, notamment en ce qui concerne les interactions qui s'exercent entre l'atmosphère, les océans et les écosystèmes;
   iii) des études sur les effets de la composition de l'atmosphère, du changement du climat et des conditions climatiques extrêmes sur les écosystèmes tropicaux et subtropicaux, les forêts boréales et les régimes hydrologiques;
   iv) des recherches sur la sensibilité des ressources agricoles mondiales par rapport :
      a) aux effets directs de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO_2 et en autres gaz à effet de serre;
      b) aux effets des changements du climat;
      c) aux combinaisons probables de ces deux facteurs;
   v) une évaluation des incidences sociales et économiques du relèvement du niveau de la mer;
   vi) une analyse des procédures relatives à l'établissement d'une politique face au type de risques qu'implique un réchauffement important par effet de serre.

5) Le PNUE, l'OMM et le CIUS devraient créer un petit groupe d'experts pour étudier les gaz à effet de serre ou prendre d'autres mesures en vue :
   i) de veiller à ce que les institutions et les organes appropriés donnent suite aux recommandations de la Conférence de Villach (1985);
   ii) de s'assurer que des évaluations de l'état des connaissances scientifiques et de leur implication pratique sont réalisées périodiquement;
   iii) de fournir des conseils quant à la nécessité d'adopter d'autres mécanismes et mesures au niveau national ou international;
   iv) d'encourager les pays en développement à effectuer des recherches pour utiliser plus efficacement leurs ressources en énergie et mieux les conserver;
   v) d'entreprendre, si cela est jugé nécessaire, l'examen d'une convention mondiale.

APPENDICE II

RECHERCHES INTERNATIONALES SUR LE CO_2 ET LE CLIMAT

Programmes internationaux

La nature mondiale des inquiétudes liées à la composition de l'atmosphère, au climat de la planète et aux changements mondiaux nécessite la participation directe des organismes internationaux à la stimulation, à la planification et à la coordination des efforts de recherche appropriés. Plusieurs organismes internationaux coopèrent à l'heure actuelle et visent ces objectifs en ce qui concerne les gaz à effet de serre et le changement climatique. Il s'agit notamment des organismes suivants :

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) – Cet organe des Nations Unis, chargé de la coordination mondiale des questions météorologiques et climatologiques, joue un rôle déterminant dans la coordination et l'animation de la recherche sur la composition de l'atmosphère et le changement climatique. L'organisme tient principalement ce rôle par l'intermédiaire de l'élément de recherche du Programme climatologique mondial (PCM). L'OMM traite les besoins et établit des plans de mise en oeuvre par les nations membres pour surveiller intensivement la composition de l'atmosphère dans le monde et faire progresser la compréhension fondamentale des processus atmosphériques, océaniques et glaciaires au sein du système climatique. Elle organise régulièrement aussi des réunions et des colloques pour examiner les résultats et coordonner les activités, et publie des rapports à ce sujet. On donne la liste de plusieurs publications et événements récents de l'OMM sur cette question dans la suite de l'appendice II.

Le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) – Le CIUS coopère avec l'OMM en tant que participant actif au Programme mondial des recherches sur le climat. En outre, par l'intermédiaire de son Programme d'étude des changements globaux, il essaie d'augmenter les interactions et la coopération entre ses unions membres spécialisées en ce qui concerne l'étude des questions du changement mondial. Le CIUS a récemment organisé plusieurs réunions et colloques internationaux en vue d'atteindre cet objectif.

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) – Avec l'aide de l'OMM, le PNUE encourage, et dans une certaine mesure finance, la recherche sur les incidences du climat sur la société, particulièrement dans les régions marginales sensibles. Entreprises dans le cadre du Programme mondial concernant l'étude des incidences du climat (PMIC) du PCM, ces activités se sont concentrées voilà déjà plusieurs années sur les études pilotes des incidences du climat dans les régions marginales froides et sèches. Les résultats de ces études, coordonnées par **l'Institut international pour l'analyse des systèmes de haut niveau** à Laxenburg, en Autriche, viennent d'être publiés sous forme de deux grands rapports (Parry et al, 1986).

La Commission des communautés européennes (CCE) – La CCE subventionne des activités de recherche sur le changement climatique parmi les nations membres par l'intermédiaire de deux programmes de recherche touchant le climat, qui traitent de la compréhension physique du climat et des interactions entre l'homme et le climat. Tous les projets entrepris dans le cadre de ces programmes sont financés à 50% par le pays où réside le responsable du projet et le reste provient du budget d'un programme quinquennal de la CCE s'élevant à 8 millions

de dollars ECU (soit environ 9 millions de dollars canadiens). Des réunions d'étude ont lieu à intervalles réguliers.

L'OMM, le PNUE et le CIUS ont coopéré, en octobre 1985, à l'organisation d'une grande évaluation déterminante de la question du CO_2 et du climat. Ces organismes ont invité environ 100 experts et dirigeants de 29 pays à participer, à Villach, en Autriche, à l'évaluation de l'état actuel des connaissances sur la question et à établir des recommandations pour que des mesures soient prises à l'avenir. Citons parmi les principaux résultats de la réunion une importante déclaration officielle sur le CO_2 et le climat *(appendice I)* et la publication d'un document d'étude volumineux sur la question. L'étude en question a été établie pour la réunion par 21 experts internationaux sous la coordination de l'Institut météorologique international, à Stockholm (voir Bolin et al, 1986). Ce document doit être publié sous forme de rapport du Comité scientifique des problèmes liés aux milieux (CSPM).

Les organismes internationaux non scientifiques font également cas des questions environnementales à l'échelle du globe comme celles du changement climatique. Comme indication, citons la déclaration récente par les ministres de l'énergie des pays européens lors d'une réunion à Paris de l'Agence internationale de l'énergie, dans laquelle on détermine le besoin de promouvoir les techniques favorables à l'environnement dans les réalisations du domaine de l'énergie, d'encourager l'utilisation efficace et l'économie dans le même domaine, par le biais de mesures économiques, et de coordonner à l'échelle mondiale les principes énergétiques qui touchent à l'environnement.

Programmes nationaux

À l'échelle nationale, plusieurs pays participent maintenant à des activités de recherche importantes pour mieux comprendre l'émission des gaz à effet de serre et le changement climatique. La plupart de ces activités se déroulent dans le cadre de programmes en place sur le climat et l'environnement et en tant que parties intégrantes de programmes internationaux comme le PCM. Toutefois, plusieurs pays, particulièrement les États-Unis d'Amérique (É.-U.) et la République fédérale d'Allemagne (RFA) ont aussi mis en place de grands programmes nationaux de recherche sur le CO_2 et le changement climatique. Dans le cas du programme des É.-U., l'organe directeur est le Department of Energy qui, en 1985, a alloué 13,3 millions de dollars US à des centres de recherche de toutes sortes pour des études de recherche particulières et pour l'évaluation de l'état actuel des connaissances. Plusieurs documents d'étude sur ces connaissances, qui devaient paraître en 1985, sont en cours de publication et doivent paraître au début de 1986. D'autres organismes des É.-U. participent également à ces programmes, notamment le Department of Agriculture, le National Research Council et la National Oceanographic and Atmospheric Administration qui exploite le Geophysical Monitoring for Climate Change program (Programme de surveillance géophysique du changement climatique).

Le programme de la RFA, en ce qui concerne la recherche sur le CO_2 et le climat, est administré par le ministère de la Recherche et des Techniques, qui fournit à l'heure actuelle environ 15,5 millions de deutsche marks par an (environ 8 millions de dollars canadiens) aux instituts de recherche du pays en vue de l'amélioration des connaissances sur les interactions entre les écosystèmes, le climat et l'homme. La plupart des études constituent des activités de recherche fondamentale qui ne comprennent pas l'étude des incidences du changement climatique. Il est probable que le financement de ce programme doublera au cours des prochaines années.

Quelques récentes réunions Internationales sur le CO_2 et le climat

Janvier, 1985. *Third Conference on Climate Variations: Symposium on Contemporary Climate*, 1850-2100, Los Angeles, Californie.

Mars, 1985. *Annual Conference on Global Monitoring of Climate Change (GMCC),* Boulder, Colorado.

Mai, 1985. *Climate-Related Impacts Networkshop,* Boulder, Colorado.

Septembre, 1985. *Conférence sur le CO_2 atmosphérique – Sources, puits et transport,* Kandersteg, Suisse.

Octobre, 1985. *Conférence conjointe PNUE/OMM/CIUS – Évaluation internationale du rôle du gaz carbonique et d'autres gaz à effet de serre dans les variations climatiques, et des incidences de ces variations.* (Président – J.P. Bruce, Canada).

Octobre, 1985. *Snow Watch 1985: Workshop on CO_2 Snow Interaction,* université du Maryland.

Novembre, 1985. *OMM, recontre d'experts en matière de CO_2,* Lake Arrowhead, Californie.

Rapports et ouvrages récents

Bolin, B., Doos, B.R., Jager, J. (éditeurs), 1986, *An Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Radiatively Active Constituents in Climate Variations and Associated Impacts.* Documentation de base destinée aux experts lors de la rencontre de Villach en 1985, env. 500 pp (doit être publiée en qualité de rapport SCOPE).

Clark, W.C. 1985, *On the Practical Implications of the Carbon Dioxide Question,* IIASA WP-85-43. Documentation de base destinée aux experts lors de la rencontre de Villach en 1985.

Clark, W.C., Munn, R.E. (éditeurs), 1985, *Sustainable Development of the Biosphere,* presses de l'université de Cambridge.

Edmonds, J., Reilley, J.M., 1985, *Global Energy : Assessing the Future,* presses de l'université d'Oxford.

Ghazi, A (éditeur), 1984, *Stratosphere : Proceedings of a Working Party Meeting,* Commission of European Communities, 182 pp.

Hare, F.K., 1985, *Climate Variations, Drought and Desertification,* rapport de l'Organisation météorologique mondial n 653.

Kates, R.W., Ausubel, J.H. Berberian, M. (éditeurs), 1985, *Imposing the Science of Climate Impact Assessment,* Wiley.

Koomanoff, F.A., et al., 1985, *CO_2 and Climate : Summaries of Research in FY 1985,* US Department of Energy.

Parry, M.L., Carter, T.R., Konijn, N.T. (éditeurs), 1986, *Assessment of Climate Impacts on Agriculture, Vol. 1: In High Latitude Regions,* et *Vol. 2: In Semi-arid regions,* Reidel Publishing.

Sundquist, E.T., Broecker, W.S. (éditeurs), 1985, *The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide : Natural Variations, Archaen to Present,* American Geophysical Union Monograph 32.

APPENDICE III

RECHERCHES CANADIENNES SUR LE CO_2 ET LE CLIMAT

Exposé de la question

Au Canada, les études de l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre, des effets possibles sur le climat et sur les incidences sociales se déroulent dans le cadre de programmes gouvernementaux de recherche fondamentale, comme les programmes de recherches universitaires financés par les subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et sous forme de projets financés spécialement sous les auspices du Programme climatologique canadien (PCC). On a attribué à ce dernier programme un financement de 3,8 millions de dollars pour une période de trois ans (1984-1987) en vue d'améliorer les capacités de prévision du climat et d'évaluer les effets du changement climatique. La plus grande partie de ces ressources sont réparties dans le milieu universitaire sous forme de contrats et d'appuis financiers à des chaires de climatologie dans plusieurs établissements. Le premier de ces appuis s'adressera à l'unversité McGill en 1986. On établit, à l'heure actuelle, une demande à présenter au Conseil du Trésor pour l'approbation de ressources supplémentairesau-delà de la période de trois ans de 1984 à 1987.

Activités particulières de recherche

Cycle du CO_2 et du carbone. La participation du Canada à la surveillance mondiale de la concentration de fond du CO_2 atmosphérique, coordonnée par l'OMM, se poursuit par la collecte et l'analyse d'échantillons d'air hebdomadaires à Alert (T.-N.-O.), à Sable Island (N.-É) et à Cape St. James (C.-B.). On envoie régulièrement à l'OMM, pour insertion dans une base de données mondiales, les données de ce programme coopératif entre, d'une part, le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) d'Environnement Canada et, d'autre part, le Centre de recherche sur le carbone en mer (CRCM) de Pêches et Océans Canada. Au cours de l'année financière 1986-1987, le SEA assumera la pleine responsabilité de la collecte et de l'analyse des données sur le CO_2 recueillies dans ces trois stations. La station d'Alert sera dotée de la capacité de surveillance permanente pour fournir des données qui seront utilisées dans les études des processus du bilan du carbone. La construction d'un laboratoire approprié doit se terminer lors de l'été de 1986. On élabore aussi des méthodes pour la mesure des autres gaz à effet de serre, notamment le méthane, les hydrocarbures chlorofluorés, l'hémioxyde d'azote et l'ozone troposphérique pour qu'elles soient appliquées à Alert.

La quatrième station canadienne d'échantillonnage du CO_2, à Mould Bay, est exploitée à la fois par le SEA et la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) des É.-U., dans le cadre du programme américain complémentaire pour la surveillance géophysique du changement climatique.

Le Centre de recherche sur le carbone en mer concentre particulièrement ses activités sur l'étude des concentrations du CO_2 dans les eaux du Pacifique nord et au-dessus de ces eaux, sur la mesure du flux du carbone organique dans les profondeurs de l'océan, par le moyen de collecteurs de sédiments, et sur la modélisation des processus du cycle du carbone dans les océans. Ces efforts sont toutefois fortement restreints par le manque de ressources. D'autres scientifiques, au SEA et dans plusieurs universités canadiennes, participent aussi à la recherche sur les processus relatifs au cycle mondial du carbone. Récemment, 14 de ces scientifiques, notamment des chercheurs du SEA et du CRCM, ont convenu de créer un groupe canadien de

modélisation des cycles mondiaux et biogéochimiques, groupe qui servirait de cadre à un échange d'informations, à la coordination des activités de recherche et au lancement de projets de recherche coopératifs. Ce groupe se réunira officiellement tous les ans.

Agriculture Canada et plusieurs centres de recherche universitaires au Canada, notamment à l'Université de Guelph et au Collège MacDonald (Université McGill), participent activement aux programmes en cours sur l'étude des processus d'échange de CO_2 entre l'atmosphère et la biosphère. Au cours de l'année écoulée, les chercheurs d'Agriculture Canada ont terminé la mise au point de techniques et de modèles pour l'estimation des récoltes agricoles à partir des mesures d'échange du CO_2. Ces techniques, ainsi que les modèles de simulation de trajectoires mis au point à l'Université de Guelph seront utilisés à l'avenir dans des études coopératives, entre Agriculture Canada, le SEA et les universités, sur les sources et les puits principaux du CO_2 atmosphérique au Canada, puis les résultats seront utilisés dans des modèles du bilan mondial.

Plusieurs centres universitaires participent à des études sur l'effet des fortes concentrations du CO_2 atmosphérique sur la croissance accrue de la végétation en milieu conditionné. Il s'agit notamment des universités de la Colombie-Britannique, de Guelph, du Manitoba et McGill. Ces études n'ont pas encore examiné de tels effets dans les conditions de plein champ.

Le CO_2 et le climat. Le Centre climatologique canadien (CCC) met au point un modèle de circulation générale à trois dimensions (GCM) qui comprend à présent un élément interactif sur le mélange des couches océaniques et la paramétrisation de la réaction appropriée des glaces en mer. Les difficultés que pose la réaction des processus hydrologiques ont toutefois retardé l'utilisation du modèle dans le cadre des études sur l'effet de l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre sur le climat. On prévoit que de telles expériences auront lieu en 1986. En attendant, les études sur le comportement des divers processus du système climatique, qui visent à améliorer la paramétrisation de ces processus dans des modèles plus vastes, se poursuivent sur un modèle climatique unidimensionnel.

Au cours de l'année écoulée, par l'évaluation et l'étude par le CCC des résultats des expériences sur les modèles climatiques des effets de l'augmentation de la concentration du CO_2 sur le climat, résultats fournis par les spécialistes américains de la modélisation de la circulation générale, du Goddard Institute In Space Studies (GISS) et du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), le CCC s'est concentré sur la comparaison des divers passages de contrôle en machine pour des niveaux normaux de CO_2, avec les normales climatiques canadiennes, et sur la comparaison des diverses expériences sur le CO_2 atmosphérique. En attendant, plusieurs études sur les caractéristiques régionales des périodes chaudes dans l'hémisphère, au cours des 80 dernières années, ont fourni plusieurs scénarios analogues quant aux effets régionaux possibles d'un réchauffement mondial modéré de 0,2 à 0,5° C.

Incidences du changement climatique. Plusieurs centres de recherche gouvernementaux et groupes universitaires participent activement à l'étude de la sensibilité de l'environnement canadien et, par conséquent, des activités socio-économiques aux divers scénarios de réchauffement climatique. Les universités de Windsor, de Guelph et du Manitoba terminent à l'heure actuelle la deuxième des trois phases éventuelles des études sous contrat financées par le PCC, qui portent sur les incidences potentielles du changement climatique respectivementsur les activités économiques dans le réseau des Grands Lacs et sur l'agriculture en Ontario et dans les Prairies.

De son côté, la Région de l'Ontario d'Environnement Canada coordonne une évaluation très étendue, en coopération avec d'autres organismes gouvernementaux et d'autres universités, de la réaction d'une grande variété d'activités socio-économiques en Ontario au changement climatique. Un rapport doit paraître en 1986. Les bureaux

régionaux du SEA à Vancouver et à Bedford ont également lancé des études pilotes à contrat sur les effets d'une montée possible d'un mètre du niveau des océans dans le Grand Vancouver, à St. John (N.-B.) et à Charlottetown (I.-P.-É.).

Quelques publications récentes au Canada sur le CO_2 et le changement climatique

Arthur, L.M., Kraft, D.K., 1985:

1) *Towards a Socio-Economic Assessment of the Implications of Climatic Change for Manitoba and the Prairie Provinces, Phase I;*
2) *Enhanced Productivity of Atmospheric CO_2 Enrichment;*
3) *Extent and Agricultural Capability of Soils of the Northern Prairies,* rapports de contrat, Programme climatologique canadien, Department of Agricultural Economics and Farm Management, Université du Manitoba.

Barrie, L.A., Fisher, D., Koerner, R.M., 1985, *Twentieth Century Trends in Arctic Air Pollution Revealed by Conductivity and Acidity Observations in Snow and Ice in the Canadian High Arctic,* Service de l'environnement atmosphérique, Vol. 19 (12), 2055-2063.

Boer, G.J., McFarlane, N.A., Laprise, R., Henderson, J.D., Blanchet, J-P., 1984, *The Canadian Climate Centre Spectral Atmospheric GCM,* Atmosphere-Ocean Vol. 22 (4), 397-429.

Crowe, R.B., 1985, *Effect of Carbon Dioxide Warming Scenarios on Total Winter Snowfall and Length of Winter Snow Season in Southern Ontario,* rapport du Centre climatologique canadien n° 85-19, 55 pp.

Da Silva, C.P., 1985, *Impacts of a 2 x CO_2 Induced Climate Change on the Koppen Climate Classification in Canada,* Université de Waterloo Dept. of Geography, 40 pp. plus appendice.

M.M. Dillon Ltd., 1985, *CO_2/Climate Literature Review Phase IV : Paleoclimatology,* SEA rapport de contrat, 46 pp. plus appendice.

Dobson, F., 1984, *The Oceans and How They Affect Climate,* Chinook Vol. 6 (4), 88-91.

Etkin, D., MacDonald, W., 1986, *Annual and Seasonal Climate Scenarios for a Warmer Arctic,* rapport du Centre climatologique canadien n° 86-1, 70 pp.

Harington, C.R. (éditeur), 1985, *Climate Change in Canada 5: Critical Periods in the Quarternrary Climate History of Northern North America,* Syllogeus 55, Musées nationaux du Canada, 482 pp.

Harington, C.R., Rice, G. (éditeurs), 1984, *Climate Change in Canada 4: Annotated Bibliography of Quaternary Climate Change in Canada,* Syllogeus 51, Musées nationaux du Canada.

Higuchi, K., Daggupaty, S.M., 1985, *On Variability of Atmospheric CO_2 at Station Alert,* Service de l'environnement atmosphérique Vol. 19 (12), 2039-2044.

Maybank, j., 1985, *Climate Change is Food for You,* Chinook Vol. 7 (2), 20-22.

MEP Company, 1985, *Canadian Seasonal Climate Scenarios for a CO_2-Induced Global Warming,* SEA rapport de contrat, 132 pp. plus appendices.

Pollard, D.F.W., 1985, *A Forestry Perspective on the Carbon Dioxide Issue,* The Forestry Chronicle, août, 312-318.

Timmerman, P., Grima, A.P. (éditeurs), 1985, *Climate Impact Assessment in the Great Lakes Basin : Overview and Research Recommendations* (résumé d'atelier), Institute for Environmental Studies, Environmental Monograph n° 7, 32 pp.

Wall, G., Harrison, R., Kinnaird, V., McBoyle, G., Zumlan, C., 1985, *Climatic Change and Its Impact on Ontario Tourism and Recreation,* rapport définitif de contrat, 111 pp.

Williams, G.D.V., 1985, *Estimated Bioresource Sensitivity to Climatic Change in Alberta, Canada,* Climatic Change Vol. 7 (1), 55-69.

Transfert d'information sur le CO_2 et le climat

Réunions et colloques : 1985

Janvier 1985 – Atelier de paléoclimatologie, Ottawa

Février 1985 – Atelier sur l'évaluation des incidences climatiques dans le bassin des Grands Lacs, King City.

Mars 1985 - – Colloque, Oakville Trafalgar High School, étudiants de 11e et 12e année (H. Hengeveld)
– Présentation au Comité supérieur de gestion d'Environnement Canada, Ottawa (H. Hengeveld)
– Colloque, club de discussion à Ottawa (H. Hengeveld)

Mai 1985 – Colloque, réunion du groupe d'étude des programmes du Nord, Edmonton (H. Hengeveld)

Septembre 1985 – Réunions avec des chercheurs dans les centres de surveillance du CO_2, en Suède et en Norvège (N. Trivett)

Octobre 1985 – Réunions avec des chercheurs aux centres de recherche sur le CO_2 et le climat, en République fédérale d'Allemagne, au Pays-Bas et en Belgique. (H. Hengeveld)

Novembre 1985 – Exposition d'affiches à la réunion nationale d'Environnement Canada, Ottawa
– Réunion technique sur la modélisation du cycle mondial biogéo chimique du carbone, Downsview
– Colloque, Université de Windsor (H. Hengeveld)
– Colloque, atelier sur les services climatiques, Downsview (H. Hengeveld)

Décembre 1985 - Colloque, chercheurs du SEA, Downsview (H. Hengeveld)

En outre, le personnel du SEA a également présenté divers exposés sur le CO_2 et le climat aux décideurs, aux étudiants et aux membres du grand public.

Médias

Des entrevues radiophoniques avec des chercheurs et des cadres d'Environnement Canada sur l'effet de serre ont été enregistrées pour les programmes de Radio Canada "Discovery" et "Saskatchewan Today". On a également donné plusieurs entrevues aux diverses stations de radio au sujet de la conférence commune OMM-PNUE-CIUS d'experts, qui s'est tenue à Villach en octobre. TV Ontario doit tourner un grand documentaire d'une heure sur l'effet de serre pour sa série VISTA, mais des problèmes de financement restent à régler. Enfin, plusieurs grands journaux ont publié des articles de fond sur la question du CO_2 et du climat. En général, on note que l'intérêt des médias se modifie et que la question dont on parlait aux nouvelles est maintenant traitée comme problème environnemental important et fait l'objet d'enquêtes.

Décideurs - grand public

La diffusion de rapports et de bulletins sur la question du CO_2 et du climat constitue toujours un moyen efficace et important de transfert d'information aux milieux non scientifiques. La liste de diffusion du rapport annuel intitulé "*Comprendre le CO_2 et le climat*" et du bulletin intitulé "*Le CO_2 et le climat*" comprend approximativement 600 adresses des milieux non scienti fiques (décideurs, enseignants, grand public). Le Comité permanent de la Chambre des communes sur les pêches et les océans et le Conseil consultatif canadien de l'environnement nous ont également demandé de leur envoyer des exemplaires des documents susmentionnés. Les demandes sur le CO_2 et le climat provenant d'étudiants sont aussi une indication que les programmes scolaires se concentrent de plus en plus sur les préoccupations environnementales dans le monde.